Aus der Poliklinik und Klinik für Zahn-, Mund- und
Kieferkrankheiten (Westdeutsche Kieferklinik,
Direktor: Prof. Dr. H. Böttger), Düsseldorf
Abteilung für Zahnärztliche Prothetik und Defektprothetik

DER EINFLUSS VERSCHIEDENER HERSTELLUNGS- UND MESSBEDINGUNGEN BEI DER PRÜFKÖRPERHERSTELLUNG AUF DEN KENNWERT „CREEP"

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Johannes Szafraniak

1981

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41536504_0102

Aus der Poliklinik und Klinik für Zahn-, Mund- und
Kieferkrankheiten (Westdeutsche Kieferklinik,
Direktor: Prof. Dr. H. Böttger), Düsseldorf
Abteilung für Zahnärztliche Prothetik und Defektprothetik

DER EINFLUSS VERSCHIEDENER HERSTELLUNGS- UND MESSBEDINGUNGEN BEI DER PRÜFKÖRPERHERSTELLUNG AUF DEN KENNWERT „CREEP"

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Johannes Szafraniak

1981

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf

Der Dekan
der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf

gez.: Prof. Dr. M. Straßburg

Referent

gez.: Prof. Dr. H.J. Rehberg

Korreferent

gez.: Prof. Dr. F. Schübel

Meinen Eltern
in Dankbarkeit gewidmet

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
2. Experimentelle Methoden	6
2.1 Material	6
2.2 Herstellen der Prüfkörper	6
2.3 Meßapparatur	15
2.4 Messung des Creep-Wertes	16
2.5 Quecksilberverlust	18
2.6 Versuchsprotokoll	18
2.7 Auswertung	21
3. Versuchsreihen	23
3.1 Vergleichstestreihen	23
3.1.1 Ergebnisse	23
3.1.2 Diskussion	24
3.2 Prüfkörperreihe mit Variation des: Kondensationsdruckes	29
3.2.1 Ergebnisse	35
3.2.2 Diskussion	39
3.3 Prüfkörperreihe mit Variation des: Kondensationszeitpunktes u. -druckes	49
3.3.1 Vorversuche	49
3.3.1.1 Ergebnisse der Vorversuche	49
3.3.1.2 Diskussion der Vorversuche	50

3.3.2 Hauptversuche 52

3.3.2.1 Ergebnisse der Hauptversuche 52

3.3.2.2 Diskussion der Hauptversuche 55

3.4 Prüfkörperreihe mit Variation der: Kondensationsart 58

3.4.1 Vorversuche 58

3.4.1.1 Ergebnisse der Vorversuche 59

3.4.1.2 Diskussion der Vorversuche 61

3.4.2 Hauptversuche 61

3.4.2.1 Ergebnisse der Hauptversuche 61

3.4.2.1 Diskussion der Hauptversuche 63

3.5 Prüfkörperreihe mit Variation der: zu kondensierenden Amalgammenge 64

3.5.1 Versuche 64

3.5.2 Ergebnisse 66

3.5.3 Diskussion 68

3.6 Prüfkörperreihe mit Variation der: Temperatur bei der Creep-Messung 69

3.6.1 Versuche 69

3.6.2 Ergebnisse 70

3.6.3 Diskussion 72

4. Zusammenfassung 73

5. Anhang, Tabelle 1 u. 2 79

6. Literaturverzeichnis 81

1. Einleitung

Von den in der Zahnheilkunde benutzten Füllungsmaterialien kommt dem Amalgam auch heute noch die führende Position zu. 70 % aller Füllungen, die in der Welt gelegt werden, sind Amalgamfüllungen. Composites, die das Amalgam verdrängen sollten, konnten dies auf Grund ihrer nicht ausreichenden Materialeigenschaften bisher nicht (21). Sie werden auch in näherer Zukunft auf den Frontzahnbereich beschränkt bleiben müssen.

Obwohl das Amalgam eine fast 200-jährige Geschichte hat, sind die Fortschritte um eine genauere Erforschung dieses Materials erst in letzter Zeit erheblich vorangekommen. Grundlage dafür war eine Normung für die Prüfung und Herstellung der Amalgame.
Die erste Normung entstand 1928 beim "National Bureau of Standards" und wurde 1929 veröffentlicht. In einer revidierten Form wurde sie 1934 von der "American Dental Association" (ADA) anerkannt.
1957 wurde von der "Fédération Dentaire Internationale" (FDI) eine abgewandelte Spezifikation beschlossen. Diese wurde von der "American Dental Association" übernommen und als ADA Spec. No. 1 veröffentlicht.

1965 erkannte der Bundesverband der deutschen Zahnärzte die Norm an. 1970 wurde sie von der "International Organisation for Standardisation" (ISO) übernommen.

Da die Forderungen der ADA Spec. No. 1 seinerzeit die einzige Grundlage zur objektiven Bewertung der Amalgame darstellten, wurden diese Forderungen einer genaueren Untersuchung unterzogen. Hierbei war vor allem von Interesse, inwieweit die durch die Norm gewonnenen Werte eine klinische Relevanz besaßen.

In klinischen Untersuchungen hatte sich der sogenannte Randbruch als einer der wichtigsten Fehler bei Amalgamfüllungen erwiesen (14, 6, 11). Der Randbruch ist Folge einer Korrosionserscheinung im Randspalt, die zu einer Randauftreibung führt. Den Vorgang der Korrosion erklärt Jørgensen (5) wie folgt: Quecksilber wird infolge der Zerstörung der γ_2 - Phase durch Korrosion frei. Es diffundiert in die Füllung zurück und bildet mit der γ - Phase neue γ_1 + γ_2 Phase. Das führt zu einer Expansion durch erneute Amalgambildung. Diesen Vorgang bezeichnet Jørgensen als "Merkuroskopische Expansion".
Für die Füllung bedeutet dieser Vorgang ein Aufbiegen der Ränder.

Die aufgebogenen Ränder stellen einen Schwachpunkt dar. Unter Kaubelastung können sie leicht brechen und Defekte hinterlassen.

Mahler untersuchte die Beziehung zwischen dem Randbruch und den in den Normen angegebenen Werten. Er konnte keine Beziehung zwischen dem Randbruch und einem der Normwerte herstellen. In weiteren Untersuchungen entdeckte er einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Randbruch und einem anderen Wert, dem Creep. Der Creep wird in der Zahnheilkunde als "Fließen eines abgebundenen und erhärteten Amalgams unter einer festgelegten Belastung" definiert. Aus anderen Wissenschaftszweigen war der Creep-Wert seit langem bekannt. Man hatte entdeckt, daß für die Widerstandsfähigkeit von Materialien bei Temperaturen, die die halbe Schmelztemperatur überschreiten, dieser Wert eine entscheidende Rolle spielte. Die theoretische Grundlage bekommt der Creep-Wert für Dentalamalgame dadurch, daß, wie Vrijhoef (22) sagt, die Schmelztemperatur für Amalgame bei $Tm \approx 350$ K liegt. Während Mahler einen Kausalzusammenhang zwischen Widerstandseigenschaften und Randbruch noch als verfrüht bezeichnete, wurden seine Untersuchungen von anderen Wissenschaftlern aufgegriffen.

Vrijhoef 1973 (22), Osborne 1976 und Duperon 1971 (16) bestätigten Mahlers Vermutung über den Zusammenhang zwischen Creep und Randbruch, sowohl bei den sogenannten konventionellen als auch bei den neuen hochkupferhaltigen Legierungen.

Der klinisch nicht so relevante Flow-Test wurde in der revidierten Form der ADA Spec. No. 1 vom 24.2.1977 (1) durch den Creep-Test ersetzt. Dadurch hatte die Erkenntnis vom wichtigen Zusammenhang zwischen dem Creepwert und dem klinischen Randbruch der Amalgamfüllung Eingang in die Norm gefunden.

Der Creep-Test wurde Ausgangspunkt für viele vergleichende Untersuchungen an Amalgamen.
So wurde von Mahler der Zusammenhang zwischem dem Quecksilbergehalt der Proben und dem Creep-Wert erkannt. Die zum Problem des Creep-Wertes durchgeführten Untersuchungen zeigten aber sehr schnell, daß ein und dasselbe Material unter veränderten Arbeitsbedingungen völlig verschiedene Creep-Werte erbrachte.

Die hier durchgeführten Untersuchungen hatten vor allem folgende Zielsetzungen:

1. Die Prüfkörperherstellung sollte weitestgehend von subjektiven Einflüssen befreit werden.

Dadurch sollten die Meßergebnisse der einzelnen Prüfkörper einer Reihe und auch der Prüfkörperreihen untereinander einheitlicher und vergleichbarer werden.

2. Nach dieser Fehlerausschaltung sollten einzelne Herstellungsbedingungen gezielt verändert werden. Dabei wurden Parameter gewählt, die sich vergleichbar auch in der Praxis finden. Nach Vorversuchen, die der Ausschaltung möglicher Fehler dienten, wurde der Einfluß der einzelnen Parameter auf den Kennwert Creep überprüft.

2. Experimentelle Methoden

2.1 Material

Es wurde ein konventionelles Feilungsamalgam der Firma Bayer AG benutzt.

Bezeichnung: LUMICON(R)-Silberamalgam
(Vorgänger: AGESTAN(R) 68)

Hersteller: Bayer AG

CH-B.: 0326 L

2.2 Herstellen der Prüfkörper

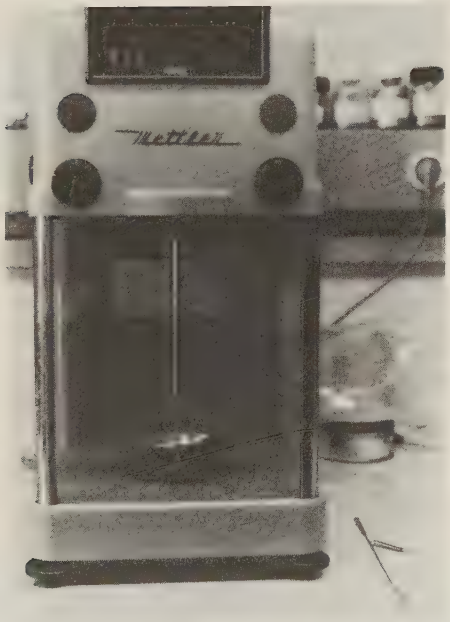
Das Herstellen der Prüfkörper erfolgte, sofern in den Meßreihen nicht gesondert angegeben, nach der ADA Spec. No. 1 for Alloy for Dental Amalgam vom 22.02.1977. Das Addendum zur ADA Spec. No. 1 von 1980 wurde berücksichtigt. Die Legierung wurde nach Angabe des Herstellers im Verhältnis

Feilung : Quecksilber = 1 : 1

angemischt.

Mit einer Analysenwaage der Firma Mettler (Abbildung 1) wurden jeweils 660 mg Feilung und 660 mg Quecksilber abgewogen.

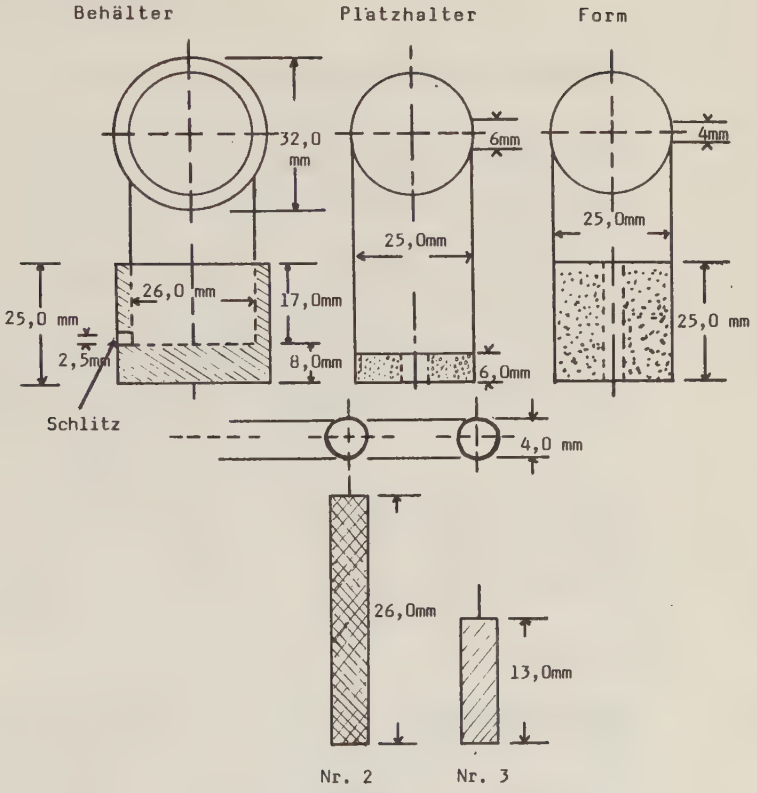
Abb. 1 Analysenwaage

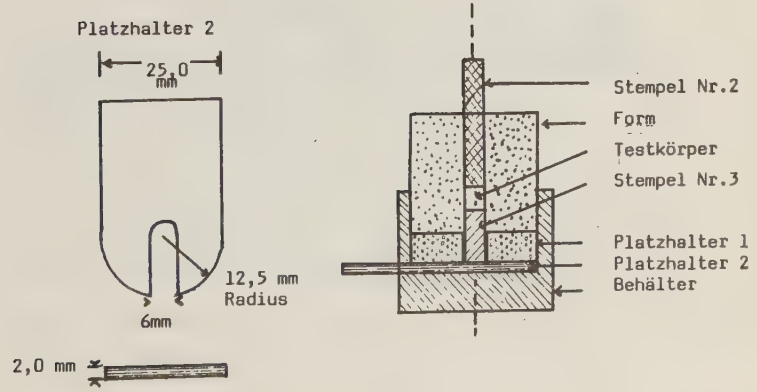


Die Trituration erfolgte mit dem Degussa-Mischer "Dentomat" bei 2700 Umdrehungen pro Minute. Eine manuelle Trituration (Mörser, Pistille) läßt eine Standardisierung nicht zu. Es sei aber hier hervorgehoben, daß nur bei gleichem Gerät, gleicher Frequenz und gleicher Triturationszeit vergleichbare Ergebnisse zu erzielen sind, da Frequenz und Zeit einen erheblichen Einfluß auf die Creep-Werte haben, wie schon Osborne (15) und Rehberg (19) zeigen konnten. Die Triturationszeit lag bei 20 sec. und somit innerhalb der vom Hersteller angegebenen Werte. Das Stopfen der Testkörper erfolgte nach ADA Spec. No. 1 Punkt 6.2.2. in einer genormten Form (Abb. 2 und 3).

Abb. 2 Stopfform zur Herstellung der Prüfkörper nach ADA Spec. No. 1

Abb. 3 Schemazeichnung der Stopfform

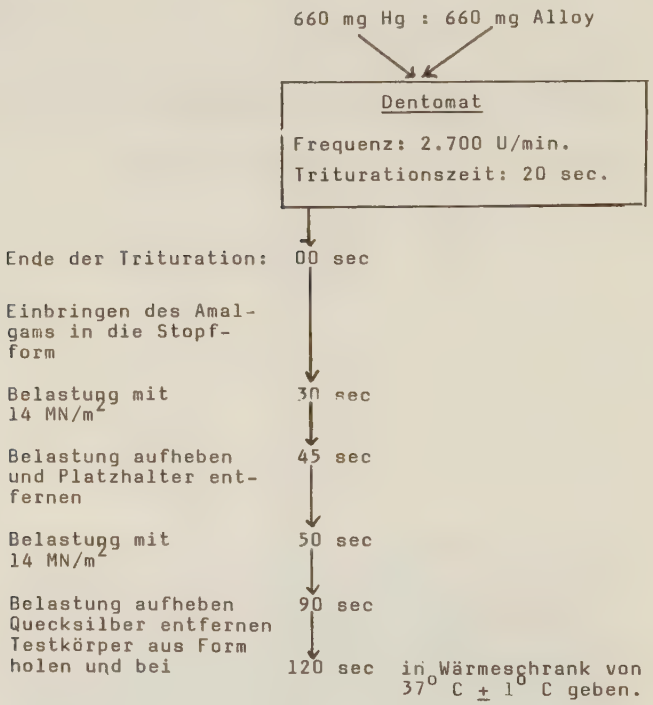




Damit ergab sich folgender Arbeitsablauf:

Raumtemperatur: 23^{o} C $\pm$ 2^{o} C

Material: LUMICON(R) (Hersteller:Bayer AG)



Vor Verbringen in den Wärmeschrank wurden die Testkörper zur Feststellung der Quecksilberabpressung auf der Analysenwaage (Abb. 1) gewogen. Dann wurden die Testkörper in den Wärmeschrank verbracht und dort für 1 Tag gelagert (Ausnahme: Testreihe 3.1 - Lagerung 7 Tage). Aus dem Wärmeschrank kommend wurden die Testkörper in die Creep-Meßapparatur eingebracht. Wie in 2.3 beschrieben wurde der Creepwert ermittelt.

Da Vorversuche gezeigt hatten, daß die Streuung der Meßwerte noch ziemlich hoch war, wurde auch beim Stopfvorgang und beim Kondensationsvorgang nach Fehlerquellen bei der Verarbeitung gesucht.

Zum Stopfvorgang:

Es zeigte sich, daß gleichmäßig gestopfte Proben nach anschließendem Kondensieren keine so hohen Streuwerte in der Creep-Prüfung ergaben wie unterschiedlich vorgestopfte Proben. Der Stopfvorgang wurde daraufhin folgendermaßen schematisiert: Das Amalgam wurde ohne Kraftaufwendung mittels eines Amalgamstopfers (Ø wenig unter 4 mm) eingebracht. Der Stempel Nr. 2 (Abb. 3) wurde in einer Höhe von 10 mm markiert. Das Einbringen des Stempels in die Stopfform erfolgte immer bis zu dieser Marke. Dadurch traf der Druckstempel während des eigentlichen Kondensationsvorganges immer auf eine gleichmäßig vorkondensierte Amalgamsäule.

Die Druckverteilung innerhalb der Probe erfolgte so unter immer gleichen Vorbedingungen.

Zum Kondensationsvorgang:

Hier wurde die rein manuelle Methode, die mit vielen Fehlerquellen behaftet sein kann (Einhaltung des Zeitplans, Kraftübertragung etc.), zu Gunsten einer maschinellen, standardisierten Herstellungsmethode verlassen.

Der Kondensationsvorgang wurde durch das in Abbildung 4 dargestellte Gerät übernommen. Dieses Gerät war mit einer automatischen Intervallschaltung gekoppelt, die den zeitlichen Ablauf des Stopfvorgangs nach den Vorschriften der ADA Spec. No. 1 steuerte.

Die Kraftübertragung erfolgte mittels Preßluft. Um Ungenauigkeiten bei der Kraftübertragung oder der Anzeige durch das Manometer auszuschalten, wurde vor jeder Prüfkörperreihe mit einem Druckaufnehmer der tatsächlich auf die Probe übertragene Druck geprüft und nötigenfalls korrigiert.

Die Stopfform wurde auf einer beheizten Platte, die mit Plexiglas abgedeckt war, immer auf 37 $\pm$ 1° C gehalten (Abb. 5).

Aus Abb. 6 und 7 wird ersichtlich, wie das Arbeitsfeld aufgeteilt war.

Abb. 4 Vorrichtung zur Kondensation des Amalgams

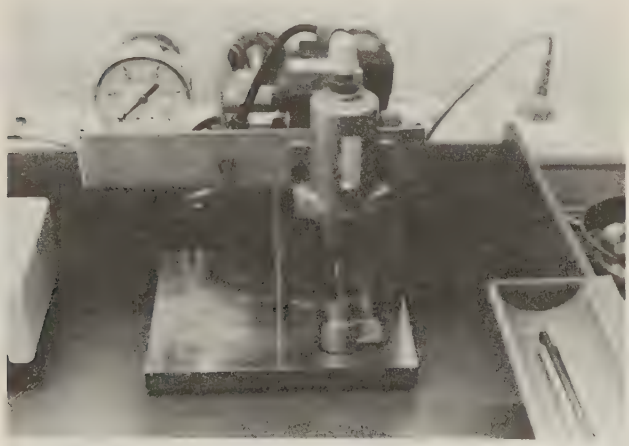


Abb. 5 Heizplatte mit zwei Stopfformen und Plexiglas-Abdeckhaube

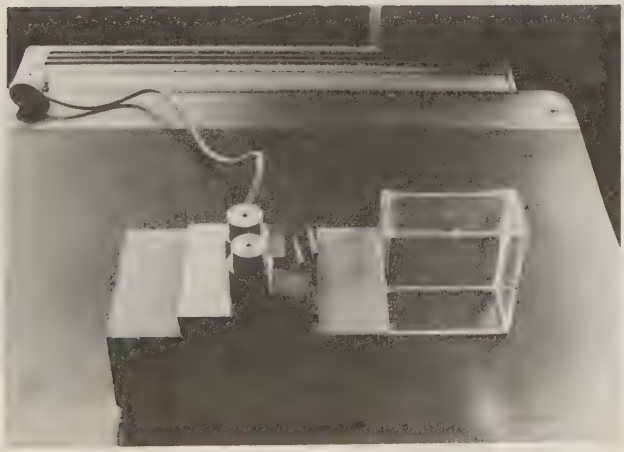


Abb. 6 Arbeitsplatz zur Prüfkörperherstellung

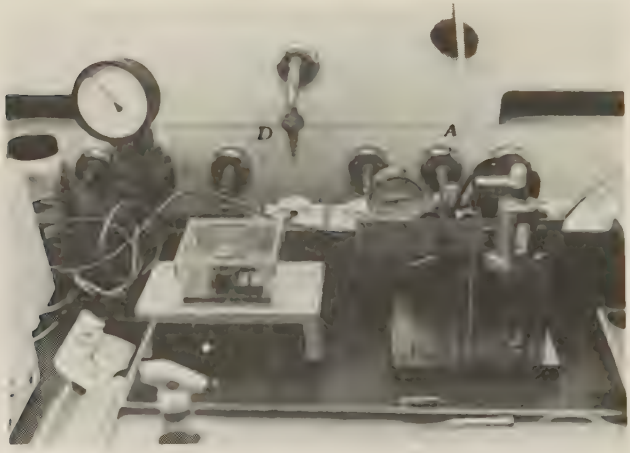


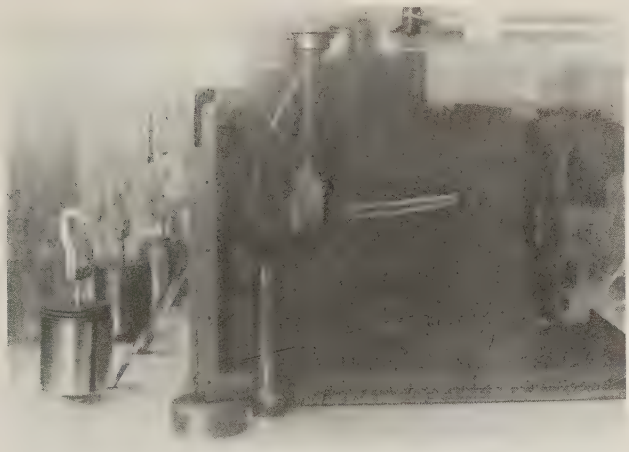
Abb. 7 Arbeitsplatz zur Prüfkörperherstellung

A = Kondensationsvorrichtung
B = Anzeigegerät des Druckaufnehmers
C = Intervallschaltung
D = Heizplatte

2.3 Creep-Meßapparatur

Zur Messung des Creep-Verhaltens diente das in Abb. 8 gezeigte Gerät.

Abb. 8 Creep-Meßapparatur



Der von der ADA Spec. No. 1 geforderte Druck soll 36 MN/m^2 betragen. Das bedeutet, die Testkörper (Ø 4mm) müssen mit 452,16 N belastet werden. Die Creep-Meßapparatur überträgt diesen Druck nach dem Hebelprinzip. Um Reibungskräfte möglichst auszuschalten, sind die Lager dieser Anordnung als Schneide und Pfanne ausgebildet. Der Testkörper steht frei zwischen zwei planparallelen Stempeln. Die gesamte Meßapparatur steht in einem Wärmeschrank, dessen Temperatur ($37 \pm 0{,}1^{\circ}$ C) durch Meßfühler laufend korrigiert und gehalten wird. Mittels eines Ventilators wird für eine Luftumwälzung gesorgt, die Wärmestaus verhindern soll.

2.4 Messung des Creep-Wertes

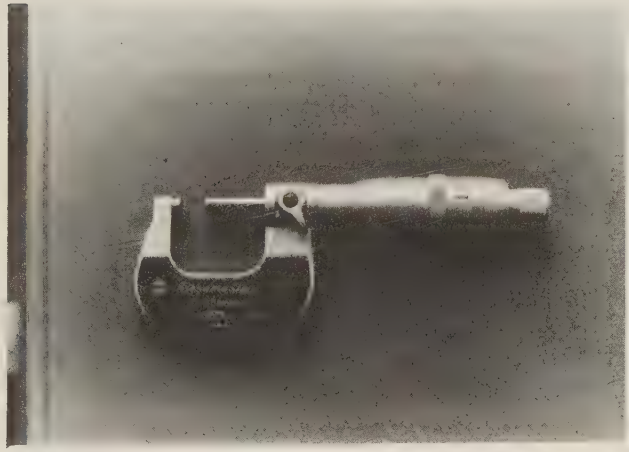
Jeder Testkörper wird zu Beginn des Versuchs, nach 1 Stunde und nach 4 Stunden mit einer Mikrometerschraube (Abb. 10) der Firma Tesamaster gemessen (Meßbereich: 0 - 25 mm, Meßgenauigkeit: 1 µm).
Jede Messung umfaßte 3 Einzelwerte, diese wurden gemittelt und das Ergebnis als Originallänge, Länge nach 1 Stunde und Länge nach 4 Stunden bezeichnet.

Der Creep-Wert berechnet sich nach folgender Formel:

$$\text{Creep (\%)} = \frac{\text{Länge nach 1 h - Länge nach 4 h}}{\text{Originallänge x 1oo}}$$

Der experimentell ermittelte Creep soll auf 0,01 % aufgerundet werden.

Abb. 10 Mikrometerschraube



2.5 Quecksilberverlust

Der Quecksilberverlust wurde durch Wiegen der Testkörper mit einer Analysenwaage (Abb. 1) ermittelt. Das Wiegen der Prüfkörper wurde direkt nach deren Herstellung vorgenommen, nochmaliges Wiegen nach 24 und nach 48 Stunden ergab keine anderen Ergebnisse. Zwischen beim Pressen und evtl. schon bei der Trituration verloren gegangenem Quecksilber wurde kein Unterschied gemacht. Da man davon ausgehen kann, daß der Gewichtsverlust rein durch das ausgepresste Quecksilber entsteht, kann man so den Quecksilberverlust und den Quecksilbergehalt der Prüfkörper bestimmen.

2.6 Versuchsprotokoll

Alle ermittelten Werte und die jeweiligen Prüfbedingungen wurden auf vorher angefertigten Formularen (Abb. 11 und 12) protokolliert.

Abb. 11 Versuchsprotokoll

Creepmessung in Abhängigkeit von:

Probenbezeichnung : Lumicon-Silberamalgam
Anmischgerät : Dentomat gestopft : mechanisch
Anmischzeit : 2o sec.
Anmischverhält. : 1 : 1

Ansatz: Uhr Datum:
(24 h bei 37 C lagern)
1. Messung: Uhr Datum :
2. Messung: Uhr Datum :
3. Messung: Uhr Datum :

App. Nr., Probennummer:

Längenmessung vor Belastung l_o mm

Längenmessung nach Belastung von 1h l_1 mm
Längenmessung nach Belastung von 4h l_4 - mm

$$\frac{\Delta l}{l_o} \cdot 100 = \quad \%$$

App. Nr. Probennummer :

Längenmessung vor Belastung l_o mm

Längenmessung nach Belastung von 1h l_1 mm
Längenmessung nach Belastung von 4h l_4 - mm

$$\frac{\Delta l}{l_o} \cdot 100 = \quad \%$$

Hg - Gehalt der Proben :

					Mittelwerte
Gewicht in mg:					
Abpressung in % :					

Bemerkungen:

Abb. 12 Versuchsprotokoll

Creepmessung in Abhängigkeit von:

Probenbezeichnung : Lumicon-Silberamalgam

Anmischgerät : Dentomat gestopft : mechanisch

Anmischzeit : 2o sec.

Anmischverhält. : 1 : 1

Ansatz: Uhr Datum:

(24 h bei 37 C lagern)

1. Messung: Uhr Datum :

2. Messung: Uhr Datum :

3. Messung: Uhr Datum :

App. Nr., Probennummer:

Längenmessung vor Belastung l_o mm

Längenmessung nach Belastung von 1h l_1 mm

Längenmessung nach Belastung von 4h l_4 - mm

$$\frac{\Delta l}{l_o} \cdot 100 = \quad \%$$

App. Nr. Probennummer :

Längenmessung vor Belastung l_o mm

Längenmessung nach Belastung von 1h l_1 mm

Längenmessung nach Belastung von 4h l_4 - mm

$$\frac{\Delta l}{l_o} \cdot 100 = \quad \%$$

Mittelwert - Creep der Proben : - - - - %

Bemerkungen:

2.7 Auswertung

Die Versuchsergebnisse wurden in Tabellen zusammengefaßt. Die dort aufgeführten Mittelwerte der Creep-Prüfung wurden nicht nach der Auswertungsvorschrift der ADA Spec. No. 1 ausgewertet. Nach dieser Vorschrift sollen zwei Muster hergestellt werden. Der Durchschnitt des Creep-Wertes für die beiden Muster soll möglichst mit einer Genauigkeit von 0,01 % angegeben werden.

Diese Vorschrift gibt dem Leser einen Mittelwert als Endergebnis an die Hand, der wenig aussagekräftig ist. Ein Mittelwert von 1,8 kann sich z.B. aus

a) $x_1 = 2{,}4$ $\quad x_2 = 1{,}2$ oder

b) $x_1 = 1{,}9$ $\quad x_2 = 1{,}7$

zusammensetzen. Daran zeigt sich, daß nur die Angabe des arithmetischen Mittelwertes in Bezug auf die Einzelergebnisse, aus denen er hervorgegangen ist, sehr ungenau ist. Mit wenig rechnerischem Aufwand und einfachen Tests lassen sich aber Ergebnisse angeben, die ein beachtliches Mehr an Information bedeuten.

Die statistischen Tests wurden nach R. Kaiser und G. Gottschalk (8) angewendet.

Zunächst wurden die Ausreißer mit dem "Ausreißertest nach Nalimov" ermittelt und eliminiert (s. Anhang, Tabelle 1).

Das Resultat für den Creep-Wert wurde dann in Standardform angegeben:

Resultat = $\bar{x}$ $\pm$ T (Einheit); $\pm$ s; P %; n

Beispiel:

1,86 $\pm$ 0,6879 (%); ($\pm$ 0,2170; 99 %; 11)

Es bedeuten:

$\bar{x}$: Mittelwert

T : Streubereich der Einzelwerte nach T = s·t
(t = Student-Faktor, s. Anhang Tabelle 2)

s : (Näherungs) standardabweichung

P %: Statistische Sicherheit in %
P = 99 % bedeutet, daß alle Aussagen in 99 von 100 Fällen richtig sind.

n : Anzahl der Einzelmessungen

Da es sich bei der vorliegenden Arbeit um eine Dissertation handelt, wurde mit P = 99% gerechnet. Außerdem wird der Vertrauensbereich der Mittelwerte angegeben als $\frac{T}{\sqrt{n}}$. Dieser Wert gibt den Streubereich des Mittelwertes an.

3. Versuchsreihen

3.1 Vergleichstestreihen

Diese Testreihen wurden hergestellt, um die nachfolgenden Prüfkörperreihen an einer nach ADA Spec. No. 1 hergestellten Prüfreihe vergleichen zu können, die den gleichen Versuchsbedingungen unterlag. Es wurden zwei Reihen zu je 12 Prüfkörpern hergestellt. Die erste Reihe wurde 7 Tage bei 37 $\pm$ 1° C gelagert. Die zweite Reihe wurde 1 Tag bei 37 $\pm$ 1° C gelagert. Die Ergebnisse früherer Untersuchungen (17), die den Einfluß der Lagerungszeit der Prüfkörper vor der Creep-Messung auf den Kennwert Creep ermittelt hatten, sollten so bestätigt und statistisch abgesichert werden, in Bezug auf das hier verwendete Material.

3.1.1 Ergebnisse

Die Ergebnisse wurden in Tabelle I und II zusammengefaßt (s. S. 26 u. 27).
Nach statistischer Auswertung ergeben sich für den Creep-Wert folgende Mittelwerte:

Lagerung: 7 Tage bei 37 $\pm$ 1° C

$\bar{x}$ = 1,48 $\pm$ 0,6618 (%); ($\pm$ 0,2128; 99 %; 12)

Lagerung: 1 Tag bei 37 $\pm$ 1° C

$\bar{x}$ = 1,86 $\pm$ 0,6879 (%); ($\pm$ 0,2170; 99 %; 11)

Für den Quecksilberverlust dieser beiden Testreihen ergaben sich folgende Mittelwerte:

Lagerung: 7 Tage bei 37 ± 1° C
Hg-Gehalt: 42,06 %
Lagerung: 1 Tag bei 37 ± 1° C
Hg-Gehalt: 42,74 %

3.1.2 Diskussion

Die für 7 Tage und 1 Tag Lagerung ermittelten Resultate lassen sich mit den Ergebnissen der Arbeit von H. Plümer (17) vergleichen. Der hier ermittelte Rückgang des Creep-Wertes von 1,86 auf 1,48 entspricht 20,43 %.
Die von H. Plümer mit Agestan erzielten Ergebnisse sind in Abb. 13, Tabelle I und II dargestellt (Agestan(R) 68 war der Vorläufer von Lumicon(R)). Der von H. Plümer ermittelte Rückgang des Creep-Wertes von 0,283 auf 0,222 entspricht einem Rückgang um 21,55 %.
Das heißt, der Rückgang des Creep-Wertes liegt bei beiden Untersuchungen, die bei unterschiedlicher Meßtemperatur vorgenommen wurden, prozentual in der gleichen Größenordnung.
Aus Abbildung 14, Tabelle II wird ersichtlich, daß die anderen von H. Plümer verwandten Materialien keine vergleichbaren Tendenzen zeigten, in Bezug auf ihr Verhalten gegenüber veränderten Lagerungszeiten.

Da das Material Lumicon(R) Silberamalgam und sein Vorläufer Agestan(R) 68 bei beiden Untersuchungen die gleichen Tendenzen in Bezug auf ihr Verhalten gegenüber veränderten Lagerungszeiten zeigten, wurde für die folgenden Untersuchungen eine eintägige Lagerungszeit vor der Creep-Messung gewählt. Somit wurden die Werte, die nach 1 Tag Lagerung bei 37 $\pm$ 1° C ermittelt worden waren, als Vergleichswerte für die nachfolgenden Testreihen herangezogen.

Tabelle I

Vergleichstestreihe: Lagerung 7 Tage bei 37 ± 1° C

Versuchs-Nr.	Originallänge in mm	Länge nach 1 h	Länge nach 4 h	Creep %	Hg-Verlust in mg	Hg-Gehalt in %
1	8,570	8,419	8,315	1,21	166	42,81
2	8,511	8,385	8,250	1,59	157	43,25
3	8,490	8,388	8,286	1,20	158	43,16
4	8,541	8,438	8,282	1,83	167	42,76
5	8,510	8,438	8,326	1,32	163	42,96
6	8,432	8,326	8,201	1,48	159	43,15
7	8,562	8,431	8,281	1,75	167	42,76
8	8,506	8,401	8,265	1,60	166	42,81
9	8,437	8,437	8,327	1,28	158	43,16
10	8,532	8,411	8,299	1,31	166	42,81
11	8,498	8,372	8,239	1,57	163	42,96
12	8,543	8,421	8,282	1,63	160	43,10
$\bar{x}$	8,522	8,402	8,278	-- *	163	42,06

$\bar{x}$ = arithmetischer Mittelwert

* = s.S. 23

Tabelle II

Vergleichstestreihe: Lagerung 1 Tag bei 37 $\pm$ 1° C

Versuchs-Nr.	Originallänge in mm	Länge nach 1 h	Länge nach 4 h	Creep %	Hg-Verlust in mg	Hg-Gehalt in %
1	8,641	8,481	8,325	1,81	167	42,76
2	8,591	8,402	8,205	2,29	166	42,81
3	8,573	8,415	8,263	1,77	166	42,81
4	8,538	8,475	8,214	3,05*1	163	42,96
5	8,538	8,401	8,212	2,21	179	42,16
6	8,505	8,347	8,196	1,78	167	42,76
7	8,407	8,234	8,100	1,59	175	42,36
8	8,515	8,389	8,246	1,67	166	42,96
9	8,545	8,398	8,241	1,84	166	42,81
10	8,630	8,474	8,320	1,79	167	42,76
11	8,564	8,412	8,265	1,72	164	42,91
12	8,532	8,387	8,231	1,83	165	42,86
$\bar{x}$	8,548	8,401	8,235	-*2	168	42,74

$\bar{x}$ = arithmetischer Mittelwert

*1 = Probe zur Creepauswertung nicht verwertbar (Verarbeitungsfehler)

*2 = s.S. 23

Abb. 14 Tabelle I *

Testkörper Nr.	Liegezeit Tage	Original-länge mm	Länge nach 1 h	Länge nach 4 h	Creep %	Mittelwert %
1	1	7,922	7,888	7,867	0,265	
2	1	7,689	7,652	7,627	0,325	0,283
3	1	8,044	8,020	7,999	0,261	
4	7	8,211	8,188	8,176	0,146	
5	7	8,080	8,068	8,048	0,248	0,222
6	7	8,055	8,033	8,011	0,273	
7	365	7,866	7,833	7,811	0,280	
8	365	8,023	7,982	7,971	0,137	0,187
9	365	7,588	7,545	7,534	0,145	

AGESTAN 68 R

Abb. 14 Tabelle II *

Creep-Mittelwerte in %

	1 Tag	7 Tage	1 Jahr
Dispersalloy	0,181	0,179	0,220
Agestan	0,283	0,223	0,187
D 555	0,426	0,190	0,240

* Die beiden Tabellen über den Einfluß der Lagerungszeit auf den Kennwert Creep wurden aus der Dissertationsarbeit von H. Plümer (17) übernommen.

3.2 Prüfkörperreihe mit Variation des: Kondensationsdruckes

In dieser Testreihe sollte der Einfluß des Druckes auf den Creep-Wert und die Hg-Abpressung ermittelt werden. Dazu wurden 3 Testreihen zu je 12 Prüfkörpern hergestellt. Der Kondensationsdruck wurde wie folgt verändert:

1/2 Normdruck = 7 MN/m^2

2-facher Normdruck = 28 MN/m^2

3-facher Normdruck = 42 MN/m^2

Um zu gewährleisten, daß tatsächlich der gewünschte Druck auf den Prüfkörper übertragen wurde, wurde die Stopfvorrichtung über 2 Druckluftflaschen gespeist. So waren Druckschwankungen im Druckluftnetz ausgeschaltet.

Um elastische Kräfte, die bei höherem Druck im Stopfsystem auftreten könnten, zu eliminieren, und um von Anzeigeungenauigkeiten der Druckluftmanometer unabhängig zu sein, wurde die Stopfvorrichtung vor jeder Versuchsreihe geeicht. Dazu diente ein Druckaufnehmer (Abb. 15 u. 16). Dieser war an ein Meßgerät (Firma Hottinger Meßtechnik) angeschlossen (Abb. 17). Der Druckaufnehmer wurde folgendermaßen hergestellt: Ein VA-Ring wurde auf eine Bodenplatte geschraubt.

Abb. 15 Druckaufnehmer

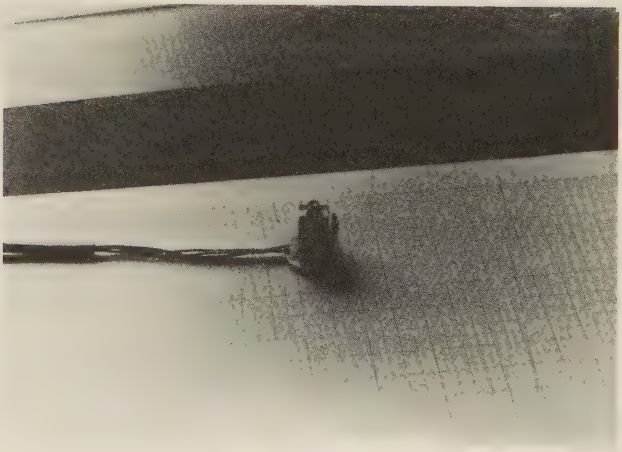
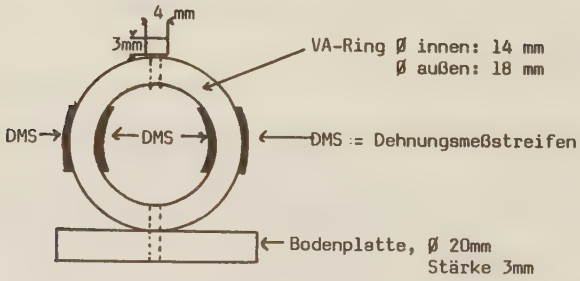
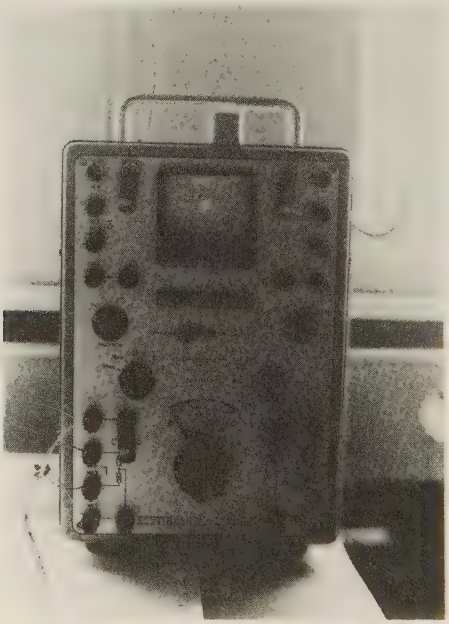


Abb. 16 Skizze Druckaufnehmer



Auf den VA-Ring wurde ein Stift hart aufgelötet, der denselben Durchmesser wie der Kolben der Stopfform hatte. An dem VA-Ring wurden vier Dehnungsmeßstreifen befestigt. Diese wurden so mit dem Meßgerät verschaltet, daß sich ihre Meßergebnisse addierten. Das ergab eine besonders hohe Empfindlichkeit. Die Eichung des Druckaufnehmers erfolgte über eine mechanische Stopfvorrichtung. Zur Erweiterung des Meßbereiches wurden 5 kg, bzw. 10 kg Platten aufgelegt. Diese Messungen ergaben folgende Ergebnisse (s. Tabelle III).
Aus diesen Ergebnissen wurde eine Gerade ermittelt (Abb. 18), aus der sich die Werte ablesen lassen, die das Meßgerät bei 1/2 Normdruck, Normdruck, 2-fachem und 3-fachem Normdruck anzeigen muß. So konnte das Stopfgerät vor jeder Prüfreihe unabhängig vom Druckmanometer genau auf den erwünschten Stopfdruck eingestellt werden. Unter diesen Versuchsbedingungen wurden die Druckprüfreihen hergestellt.

Abb. 17 Meßgerät (Firma Hottinger Meßtechnik)



Dieses Meßgerät diente zusammen mit dem Druckaufnehmer zur Eichung der Kondensationsvorrichtung.

Dehnungsmessungen Eichung Druckaufnehmer

K.-Nr.:

Meß-stelle	Dat.: Uhrz.: Bel.:	0	17,76 Kp		27,76 Kp		37,76 Kp		42,76 Kp								Bemerkungen
		0-Abl.	Abl.	Δε	Abl.	Δε	Abl.	Δε	Abl.	Δε	Abl.	Δε	Abl.	Δε	Abl.	Δε	
	↑	26569	27388	819	27857	469	28330	473	28563	233							↑ Belasten
	↓	26563	27391	828	27864	473	28329	465	28563	234							↓ Entlasten
	↑	26563	27387	824	27863	469	28337	474	28570	233							
	↓	26562	27395	833	27861	466	28337	476	28570	233							
	↑	26562	27391	829	27863	472	28334	475	28570	236							K-Faktor 2,0
	↓	26561	27394	833	27866	472	28337	471	28570	233							
	↑	26561	27388	827	27865	477	28335	470	28571	236							
	↓	26562	27396	834	27867	471	28335	468	28571	236							
			Ø	828	Ø	471	Ø	472	Ø	234							

Kp		N		ε
0	≙	0	≙	0
17,76	≙	174,2	≙	828
27,76	≙	272,3	≙	1299
37,76	≙	370,4	≙	1771
42,76	≙	419,5	≙	2005

Höhe der Stopfform mit Probe 59 mm
Höhe des Druckaufnehmers 24 mm
Druckaufnehmer wurde durch Unterlegen auf gleiche Höhe wie Stirnfläche der Stopfform gebracht.

16327/7

HEWLETT hp PACKARD
PART NO. 7170 - 1024
Steifdruck 3-fach
Steifdruck 2-fach
Steifdruck 1-fach
Steifdruck 0,9 fach
Creep
2133
1656
1500
1000
888
500
N
100
200
300
400
500
714,2
1414
2121,4

3.2.1 Ergebnisse

Die Ergebnisse dieser Prüfreihen wurden in den Tabellen IV, V u. VI zusammengefaßt (s.S. 36, 37, 38).
Nach statistischer Auswertung ergaben sich für den Creep-Wert folgende Mittelwerte:

1/2 Normdruck = 7 MN/m^2

$\bar{x}$ = 2,27 $\pm$ 1,1270 (%); ($\pm$ 0,3625; 99 %; 12)

2-facher Normdruck = 28 MN/m^2

$\bar{x}$ = 1,55 $\pm$ 0,4003 (%); ($\pm$ 0,1278; 99 %; 11)

3-facher Normdruck = 42 MN/m^2

$\bar{x}$ = 1,52 $\pm$ 0,3539 (%); ($\pm$ 0,1089; 99 %; 11)

Die Werte für den Quecksilberverlust und die Länge der Prüfkörper sind als arithmetische Mittelwerte in die Tabellen IV, V und VI eingefügt.

Tabelle IV

Prüfkörperreihe m. Variation des: Kondensationsdruckes

1/2 Normdruck

Versuchs-Nr.	Originallänge in mm	Länge nach 1 h	Länge nach 4 h	Creep %	Hg-Verlust in mg	Hg- Gehalt in %
1	9,245	9,104	8,940	1,77	62	47,54
2	9,273	9,144	8,891	2,40	164	42,91
3	9,364	9,197	9,081	1,91	120	45,00
4	9,275	9,175	8,921	2,74	121	44,95
5	9,260	9,148	9,050	2,14	73	47,07
6	9,321	9,187	8,961	2,32	119	45,05
7	9,168	9,043	8,858	2,02	65	47,41
8	9,273	9,145	8,843	2,18	64	47,45
9	9,182	8,954	8,691	2,86	70	47,20
10	9,150	8,981	8,791	2,08	65	47,41
11	9,151	8,969	8,784	2,02	65	47,41
12	9,155	8,953	8,696	2,81	70	47,20
$\bar{x}$	9,235	9,081	8,876	-- *	88	46,38

* = s. S. 35

Tabelle V

Prüfkörperreihe m. Variation des: Kondensationsdruckes
2-facher Normdruck

Versuchs-Nr.	Originallänge	Länge nach 1 h	Länge nach 4 h	Creep %	Hg-Verlust in mg	Hg-Gehalt in %
1	7,923	7,825	7,719	1,34	267	37,32
2	7,930	7,837	7,714	1,55	267	37,32
3	7,909	7,788	7,685	1,30*	263	37,56
4	7,936	7,776	7,637	1,75	268	37,26
5	7,913	7,794	7,672	1,54	268	37,26
6	7,924	7,818	7,701	1,48	267	37,32
7	7,897	7,792	7,666	1,60	267	37,32
8	7,935	7,810	7,685	1,57	268	37,26
9	7,923	7,815	7,694	1,53	268	37,26
10	7,918	7,804	7,676	1,62	266	37,38
11	7,895	7,784	7,661	1,56	267	37,32
12	7,931	7,770	7,635	1,70	263	37,56
$\bar{x}$	7,920	7,801	7,675	--*1	267	37,35

* = Wert entfällt für Creepmessung, da Probe verbogen

*1 = s. S. 35

Tabelle VI

Prüfkörperreihe m. Variation des: Kondensationsdruckes
3-facher Normdruck

Versuchs-Nr.	Originallänge	Länge nach 1 h	Länge nach 4 h	Creep %	Hg-Verlust in mg	Hg-Gehalt in %
1	7,545	7,437	7,330	1,42	315	34,33
2	7,551	7,438	7,308	1,72	317	34,20
3	7,542	7,440	7,331	1,45	315	34,33
4	7,645	7,505	7,390	1,51	314	34,39
5	7,534	7,423	7,311	1,49	314	34,39
6	7,543	7,432	7,317	1,52	310	34,65
7	7,542	7,431	7,314	1,48	315	34,33
8	7,562	7,428	7,315	1,49	314	34,39
9	7,531	7,430	7,306	1,65	314	34,39
10	7,582	7,471	7,313	2,08 *	310	34,65
11	7,547	7,436	7,334	1,35	314	34,39
12	7,553	7,417	7,213	1,64	310	34,65
$\bar{x}$	7,556	7,441	7,315	--*1	314	34,42

* = Wert entfällt, da Probe unbrauchbar

* = s.S. 35

3.2.2 Diskussion

Schon Vrijhoef und Mitarbeiter (22, 23, 24) arbeiteten mit verschiedenen Drucken und A.E. Clark und Mitarbeiter (2) schlugen vor, die Untersuchungen über den Einfluß des Kondensationsdruckes auf alle Materialeigenschaften des Amalgams auszudehnen.
Rehberg und Mitarbeiter (19) konnten eine deutliche Verbesserung des Creep-Wertes in Abhängigkeit vom 3-fachen Normdruck = 42 MN/m^2 aufzeigen. Parameter, wie etwa die Anmischzeit, konnten durch Druckerhöhung (beim Kondensationsvorgang) deutlicher einem bestimmten Creep-Wert zugeordnet werden.

In dieser Untersuchung wurde der Druck in folgenden Grenzen variiert: 1/2 Normdruck, Normdruck, 2-facher Normdruck, 3-facher Normdruck. Der Deutlichkeit halber sind die Ergebnisse noch einmal in Tabelle VII zusammengefaßt. Außerdem wurden der Creep-Wert und die Hg-Abpressung in Abhängigkeit vom Druck in einer Graphik dargestellt (Abb. 19). Aus Tabelle VII und Abb. 19 wird folgendes ersichtlich: Mit steigendem Kondensationsdruck verbessert sich der Creep-Wert. Der Streubereich der Einzelwerte (T) und damit der Vertrauensbereich ($\frac{T}{\sqrt{n}}$) wird kleiner. Das heißt, daß das Datenmaterial mit steigendem Druck homogener wird. Ein Vergleich der Streubereiche der Mittelwerte (Vertrauensbereich) zeigt, daß die Ergebnisse für den 2-fachen Normdruck und den 3-fachen Normdruck etwa im selben Bereich zu erwarten sind.

In Abb. 19 wurde der Creep-Wert in Abhängigkeit vom Druck und vom Quecksilbergehalt dargestellt. Die Verbesserung des Creep-Wertes in Abhängigkeit vom Druck ist keine lineare Funktion. Die Steigung der Kurve nimmt nach Erreichen des 2-fachen Stopfdruckes erheblich ab, wobei sie sich einem fast parallel zur Abszisse liegenden Verlauf annähert. Die Quecksilberabpressung verläuft fast linear zur Veränderung des Creep-Wertes. Bei der Interpretation dieser Kurven muß natürlich berücksichtigt werden, daß sich beide Kurven aus nur jeweils drei Mittelwerten ergeben.

Der Creep-Wert verbessert sich durch Druckerhöhung:

von 1/2	Normdruck auf	Normdruck um 18,06 %
von	Normdruck auf 2-fachen	Normdruck um 16,67 %
von 2-fachem	Normdruck auf 3-fachen	Normdruck um 1,94 %

Es zeigt sich deutlich, daß für dieses Feilungsamalgam eine Steigerung über den 2-fachen Stopfdruck hinaus (28 MN/m^2) keine signifikante Verbesserung des Kennwertes Creep bedeutet.
Wesentlich ist weiterhin, daß der von der Norm vorgegebene Kondensationsdruck von 14 MN/m^2 für Feilungsamalgame nicht ausreicht, um deren optimale Verarbeitungsweise zu garantieren.

Sphärische Amalgame zeigen bei Normdruck, wie man bei einigen Legierungsherstellern nachlesen kann, weit niedrigere Werte als Feilungsamalgame (Bsp: Dispersalloy(R) von Johnson & Johnson). Dieser Effekt könnte darauf beruhen, daß sich sphärische Amalgame durch ihre Partikelform (Kugeln) leichter kondensieren lassen als die ungleichmäßigen Partikel der Feilungsamalgame. Um labormäßig einen Vergleich von sphärischen und Feilungsamalgamen zu erzielen, sollte deshalb ein Druck angewandt werden, der beiden Materialien gerecht wird.
Dieser Druck wäre nach den hier vorliegenden Resultaten bei 2-fachem Normdruck = 28 MN/m^2 erreicht.

Weiter bleibt zu sagen, daß klinisch der Stopftechnik wesentlich mehr Beachtung geschenkt werden sollte. Das betonte schon G. Wing (26). Auch A.E. Clark und Mitarbeiter (2) heben hervor, wie wichtig die Stopftechnik ist. Sie weisen darauf hin, daß bei sphärischen Amalgamen die Benutzung zu kleiner Stopfer zu einem "Vorbeigleiten" des Amalgams am Stopfer führen kann. Dies würde sicherlich zu einem schlechten Ergebnis bei der Kondensation führen. So ist der Grundsatz von G. Wing (26):

> "Bei sphärischen Amalgamen große Stopferdurchmesser und kleine Stopfkraft und bei Feilungsamalgamen kleine Stopferdurchmesser und große Stopfkraft zu benutzen"

weiterhin relevant.

Der durch die Norm gewonnene Creep-Wert eines Feilungsamalgams läßt sich also in Bezug auf seine klinische Verwendung nicht mit dem eines sphärischen Amalgams vergleichen, da bei der klinischen Verwendung der Amalgame die individuellen Verarbeitungsfaktoren den entscheidenden Einfluß ausüben.

Ein labortechnisch besserer Creep-Wert eines sphärischen Amalgams bei niedrigem Kondensationsdruck muß nicht eine bessere klinische Verwendbarkeit nach sich ziehen. -

Die labormäßig hergestellte Amalgamprobe entsteht in einer allseitig geschlossenen Form. Ein Ausweichen des Amalgams beim Kondensationsvorgang, wie es schon A.E. Clark (2) beschreibt, ist hier beim Kondensationsvorgang nicht möglich.

Die klinische Situation ist eine andere. Das Amalgam wird in einer nach oben offenen Matritze mit einem Stopfer, der immer nur einen Teil der zu kondensierenden Fläche bedecken kann, verarbeitet. Hier kann ein Amalgam, dessen ungleichmäßige Partikelform sich im Laborversuch bei niedrigem Kondensationsdruck negativ auswirkt, durchaus Vorteile besitzen. Ein sphärisches Amalgam, das sich auf Grund seiner Partikelform nicht "verkantet", kann unter dem Stopfer hinweggleiten, bei einem Feilungsamalgam "verkanten" die Partikel und lassen sich kondensieren. Kontaktpunkte oder -flächen können unter Druck in der Matritze erzeugt werden, weil ein Ausbauchen des Matritzenbandes zum Nachbarzahn hin möglich ist. Dies ist bei starker Plastizität, wie sie bei sphärischen Amalgamen

anzutreffen ist, nicht gleichermaßen möglich (s. A.E.Clark, 2).

Es soll am Ende dieses Abschnitts noch einmal hervorgehoben werden, daß, um zumindest labormäßig vergleichbare Ergebnisse zwischen Feilungsamalgamen und sphärischen Amalgamen zu erzielen, eine Erhöhung des Normdruckes auf 28 MN/m^2 nötig ist.
Da die Erhöhung des Druckes die sphärischen Amalgame nicht negativ beeinflussen dürfte, und die Feilungsamalgame erst bei diesem Druck optimale Ergebnisse erbringen, wäre so ein objektiverer Vergleich gegeben.

Quecksilberabpressung

Die in dieser Versuchsreihe ermittelte Hg-Abpressung ergab eine etwa lineare Beziehung zum Druck (Abb. 19). Parallel zu der erhöhten Hg-Abpressung läuft immer eine Verminderung der Prüfkörperlänge und eine bessere (makroskopisch sichtbar) Homogenität der Prüfkörper. Inwieweit die Verbesserung des Creep-Wertes bei erhöhtem Druck auf die geringere Porosität der Prüfkörper oder auf einen niedrigeren Hg-Gehalt zurückzuführen ist, sollte mit dieser Untersuchung nicht geklärt werden. Das Zahlenmaterial soll aber auch auf diese Fragestellung hin geprüft werden.

Zum Einfluß des Hg-Gehaltes stellte Mahler (12) in früheren Untersuchungen fest, daß der Creep-Wert von Amalgamen erst bei einem Hg-Anteil von über 48 % stark zunimmt.
Die Prüfkörper unserer Testreihe wiesen alle einen Hg-Gehalt < 48 % auf.
Zur Frage, ob der Hg-Gehalt oder die Porenhäufigkeit der bestimmende Faktor für die Kennwerte der Amalgame ist, stellt Königsmann (9) fest: "daß der Stopfdruck die Härte von Amalgam mitbestimmt, ist in den meisten Fällen weniger auf den Druck als eine die Porenhäufigkeit verringernde physikalische Größe zurückzuführen, sondern vielmehr dadurch gegeben, daß mit steigendem Druck mehr Hg aus der Mischung abgepreßt wird, und damit in dem Körper weniger γ + η Phasenbestandteile vorliegen". Da die Härte laut dieser Arbeit mit der Kriechneigung korreliert, wäre also für den Creep dasselbe zu sagen.

Inwieweit die Porenhäufigkeit einen entscheidenden Einfluß auf den Creep-Wert hat, kann hier nicht generell geklärt werden. Trotzdem erscheint mir folgender Vergleich des hier vorliegenden Zahlenmaterials interessant:
Vergleicht man die Originallängen der Prüfkörper nach dem Kondensieren, so läßt sich nach

$$V = r^2 \cdot \pi \cdot h$$

errechnen, um wieviel sich das Volumen des Prüfkörpers bei Druckerhöhung verringert hat.

Errechnet man nun weiterhin das Volumen, welches das abgepresste Quecksilber einnahm, so läßt sich ein Rückschluß auf die Veränderung der Porosität der Prüfkörper ziehen. Kleinere Volumenänderungen durch die Phasenumwandlung sind hierbei nicht berücksichtigt.

Bei Vergleich jeder Testreihe mit der Testreihe mit dem nächst höheren Druck ergeben sich folgende Resultate:

Druckerhöhung von:	1/2 Normdr. auf Normdr.	Normdr. auf 2-f. Normdr.	2-f. Normdr. auf 3-f. Normdr.
Gesamtvolumenverlust in mm^3	8,63	7,89	4,57
in %	7,44	7,37	4,59
Anteil durch Hg-Verlust in mm^3	5,88	7,28	3,46
in %	5,07	6,80	3,47
Anteil durch Porositätsänderung in mm^3	2,75	0,61	1,11
in %	2,37	0,57	1,12
Anteil der Porositätsänderung am Gesamtvolumenverlust in %	31,85	7,73	24,29

Während das Gesamtvolumen des Prüfkörpers ständig abnimmt, differieren die beiden Größen, aus denen sich dieser Volumenverlust zusammensetzt. Die Änderung der Porositäten innerhalb des Prüfkörpers und der Anteil der Volumenänderung durch Quecksilberverlust verlaufen nicht linear. Ein Zusammenhang zwischen der Verbesserung des Creep-Wertes bei Druckerhöhung und der Porositätsänderung ist nicht feststellbar.
Während eine erhebliche Verbesserung des Creep-Wertes bei Erhöhung von 1/2 Normdruck auf Normdruck und Erhöhung von Normdruck auf 2-fachen Normdruck festzustellen war, und die Verbesserung des Creep-Wertes bei Erhöhung von 2-fachem auf 3-fachen Normdruck nicht entscheidend war, zeigt sich, daß der Anteil der Porositätsänderung am Gesamtvolumenverlust bei Erhöhung von 1/2 Normdruck auf Normdruck (31,85 %) und Erhöhung von 2-fachem auf 3-fachen Normdruck (24,29 %) erheblich höher lag als bei Erhöhung von Normdruck auf 2-fachen Normdruck (7,73 %).
Nach diesen Untersuchungen kann also der Vermutung von Königsmann (9), daß die Änderung der Porosität keinen erheblichen Einfluß auf eine Verbesserung des Creep-Wertes hat, zugestimmt werden.

Tabelle VII

Zusammenfassung der Berechnungen der Druckreihen

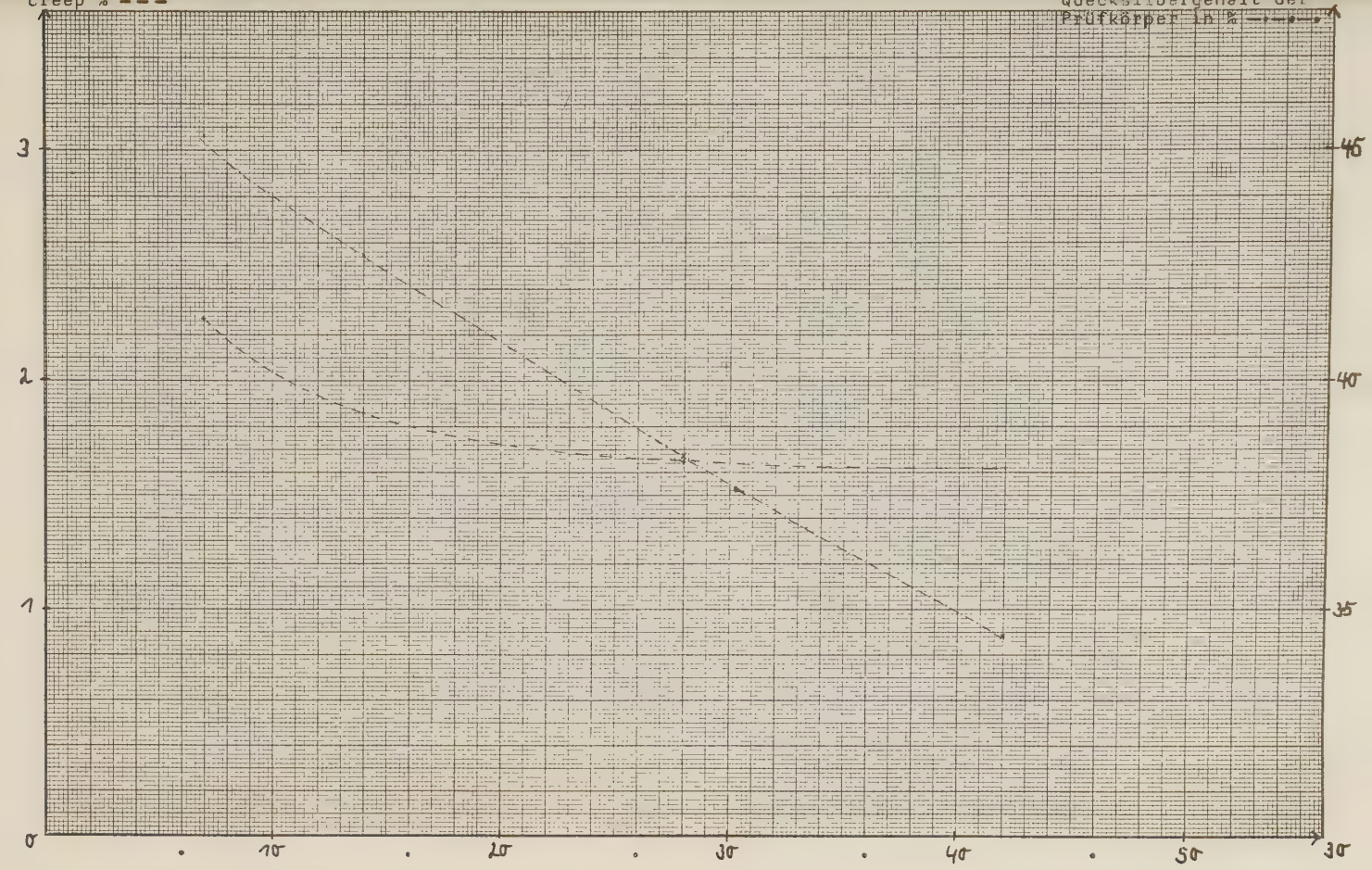
1. Creepwerte nach statistischer Berechnung

	$\bar{x}$	$\pm T$	$\pm s$	%	n	$\frac{T}{\sqrt{n}}$
1/2 Normdruck	2,27	1,127	0,3625	99	12	0,3253
Normdruck	1,86	0,6879	0,2170	99	11	0,2074
2-facher Normdruck	1,55	0,4003	0,1287	99	11	0,1155
3-facher Normdruck	1,52	0,3539	0,1089	99	11	0,1067

2. Arithmetische Mittelwerte

	Original-länge	Länge nach 1h	Länge nach 4h	Creep %	Hg-Verlust in mg	Hg-Gehalt in %
1/2 Normdruck	9,235	9,081	8,876	--	88	46,38
Normdruck	8,548	8,401	8,235	--	168	42,74
2-facher Normdruck	7,920	7,801	7,675	--	267	37,35
3-facher Normdruck	7,556	7,441	7,315	--	314	34,42

Abb. 19


Creep % ---
Quecksilbergehalt der Prüfkörper in % —·—·—
3
2
1
0
45
40
35
30
10
20
30
40
50

3.3 Prüfkörperreihe mit Variation des: Kondensationszeitpunktes u. -druckes

In dieser Testreihe sollte der Einfluß des Kondensationszeitpunktes kombiniert mit einer Kondensationsdruckerhöhung auf das 2-fache (28 MN/m^2) untersucht werden. Die Frage war, inwieweit der negative Einfluß einer verspäteten Kondensation durch eine Druckerhöhung kompensiert werden könnte.
Es wurden ein Druck von 28 MN/m^2 gewählt, weil in der vorhergegangenen Versuchsreihe mit diesem Druck optimale Ergebnisse für den Creep-Wert ermittelt worden waren.

3.3.1 Vorversuche

Es wurden jeweils 3 Prüfkörper angefertigt. Abweichend von der Norm wurde der Kondensationszeitpunkt nach Trituration von 30 sec. bis auf 420 sec. gesteigert. Es wurden die Prüfkörperlänge L_o und der Hg-Verlust in Prozent ermittelt.

3.3.1.1 Ergebnisse der Vorversuche

Die Ergebnisse der Vorversuche sind in Tabelle VIII zusammengestellt (s. S. 51).

3.3.1.2 Diskussion der Vorversuche

Es zeigt sich, daß der Hg-Verlust mit Verzögerung der Kondensation abnimmt. Weiterhin ist ein Einfluß auf Prüfkörperlänge und Prüfkörperhomogenität feststellbar. Die Prüfkörper nehmen kontinuierlich an Länge zu und die Homogenität wird (makroskopisch sichtbar) schlechter.

Tabelle VIII

Prüfkörperreihe m. Variation des: Kondensationszeitpunktes

Einfluß auf Gewicht, Hg-Verlust und Länge der Probekörper

Zeit	Gewicht in mg	Hg-Verlust in %	Mittelwerte	Länge	Mittelwerte
30 sec.	1137 1140 1134	14,64 14,41 14,86	14,64 %	8,420 8,460 8,443	8,441
60 sec.	1159 1157 1155	12,98 13,14 13,29	13,13 %	8,487 8,585 8,498	8,523
90 sec.	1160 1155 1156	12,91 13,29 13,21	13,11 %	8,660 8,437 8,476	8,524
180 sec.	1168 1170 1167	12,31 12,16 12,38	12,43	8,563 8,556 8,569	8,563
300 sec.	1206 1201 1215	9,46 9,83 8,78	9,36	8,779 8,704 8,569	8,757
420 sec.	1260 1276 1285	5,42 4,23 3,52	4,39	9,110 9,135 9,217	9,154

Einwaage: 1332 mg
666 mg : 666 mg=Alloy: Hg

3.3.2 Hauptversuche

Da auch nach 420 sec. noch im Mittel 4,37 % Hg abgepresst wurden, wurde diese extreme Verzögerung für die Creep-Meßreihe gewählt. Eine Prüfreihe wurde nach 420 sec. mit Normdruck hergestellt. Die andere Prüfreihe wurde nach 420 sec. mit 2-fachem Normdruck (28 MN/m^2) kondensiert.
Es sollte ermittelt werden, inwieweit die durch die verzögerte Kondensation schlechter gewordenen Materialeigenschaften (Homogenität, Hg-Gehalt, Creep-Wert) durch den bei Normbedingungen als optimal ermittelten Druckwert von 28 MN/m^2 beim Stopfvorgang ausgeglichen werden können.

3.3.2.1 Ergebnisse der Hauptversuche

Die Ergebnisse der beiden Testreihen wurden in Tabelle IX und X zusammengefaßt (s. S. 53, 54).
Nach statistischer Auswertung ergaben sich für den Creep-Wert folgende Mittelwerte:
Kondensation nach 420 sec. mit Normdruck (14 MN/m^2)

$\bar{x} = 2{,}52 \pm 0{,}8936$ (%); ($\pm$ 0,2553; 99 %; 8)

Kondensation nach 420 sec. mit 2-fachem Normdruck (28MN/m^2)

$\bar{x} = 2{,}37 \pm 0{,}9708$ (&); ($\pm$ 0,2409; 99 %; 6)

Hg-Verlust: s. Tabelle IX und X.

Tabelle IX

Prüfkörperreihe m. Variation des: Kondensationszeitpunktes u. -drucks

Kondensationszeit 420 sec / Normdruck

Versuchs-Nr.	Originallänge in mm	Länge nach 1 h	Länge nach 4 h	Creep %	Hg-Verlust in mg	Hg-Gehalt in %
1	9,198	9,037	8,778	2,76	50	48,03
2	9,087	8,970	8,790	2,64	48	48,11
3	9,170	9,060	8,869	2,19	53	47,91
4	9,213	9,063	8,878	2,65	61	47,58
5	9,134	9,025	8,776	2,73	48	48,11
6	9,091	8,953	8,709	2,68	58	47,70
7	9,212	9,102	8,886	2,35	50	48,03
8	9,148	9,021	8,827	2,12	62	47,54
$\bar{x}$	9,157	9,029	8,814	-- *	53,75	47,88

* = s. S. 52

Tabelle X

Prüfkörperreihe m. Variation des: Kondensationszeitpunktes u. -drucks

Kondensationszeit 420 Sec / 2-facher Normdruck

Versuchs-Nr.	Originallänge in mm	Länge nach 1 h	Länge nach 4 h	Creep %	Hg-Verlust in mg	Hg-Gehalt in %
1	8,275	8,120	7,801	3,86*	179	42,15
2	8,120	8,105	7,893	2,56	188	41,70
3	8,382	8,263	8,055	2,48	170	42,61
4	8,254	8,102	7,927	2,12	188	41,70
5	8,286	8,169	8,045	1,01*	195	41,33
6	8,400	8,235	8,019	2,57	172	42,51
7	8,291	8,196	7,991	2,47	188	41,70
8	8,349	8,214	8,046	2,01	177	42,26
$\bar{x}$	8,295	8,176	7,972	--	182	42,00

* = Für Creepmessung unbrauchbar, da Probe verbogen

3.3.2.2 Diskussion der Hauptversuche

Es zeigt sich, daß die Creep-Werte erheblich höher sind, als bei Probekörpern, die nach der Norm, d.h. Kondensation nach 30 sec., hergestellt wurden. Dieses Ergebnis ist für die Proben, die nach 420 sec. mit Normdruck gestopft wurden, zu vermuten gewesen. Es hat nur durch seinen niedrigen Wert überrascht, da auch dieser Wert unter den von der Norm geforderten 3 % lag.

Die zweite Testreihe mit den Probekörpern, die nach 420 sec. mit 2-fachem Stopfdruck kondensiert wurden, zeigt nur einen geringen Rückgang des Creep-Wertes. Verglichen mit den Werten in Versuchsreihe 3.3, wo die Erhöhung von 14 MN/m^2 auf 28 MN/m^2 einen Rückgang des Creep-Wertes von 16,67 % ausmachte, geht hier der Creep nur um 5,9 % zurück. Es zeigt sich also, daß hier trotz eines Einflusses des Kondensationsdruckes der Zeitfaktor der entscheidendere Wert ist.

Interessant ist ein Vergleich dieser Testreihe mit der Vergleichstestreihe nach 3.1, Tabelle I. Es wird deutlich, daß trotz geringerer Prüfkörperlänge (Homogenität) und höherer Hg-Abpressung die Creep-Werte für die Normtestreihe erheblich niedriger sind. Eine endgültige Interpretation dieses Tatbestandes läßt sich auf Grund der vorliegenden Untersuchung nicht geben.

Dieser Effekt könnte auf eine erhöhte Bildung von γ_1 + γ_2 Phase in den ersten 420 sec. zurückzuführen sein.

Diese Phasen beeinflussen das Creep-Verhalten der Amalgame erheblich, vor allem die γ_2 Phase, wie schon Jørgensen (5) beschreibt. Die neu gebildeten Kristall-Phasen könnten durch den erhöhten Druck zwar kondensiert werden (s. Prüfkörperlänge), wirken sich aber bei der anschließenden Creep-Prüfung negativ aus. Es muß weiteren Untersuchungen überlassen werden, diese Vermutung zu bestätigen oder zu widerlegen.

Vergleichen wir auch hier den Anteil des abgepressten Quecksilbers mit dem Anteil der Porositätsänderung am Gesamtvolumenverlust, so ergeben sich folgende Resultate:

	Kondensation 42o sec/ Normdruck	Kondensation 42o sec./ 2-facher Normdruck
Gesamtvolumenverlust in mm^3	- 7,65	3,18
in %	- 7,15	2,97
Anteil durch Hg-Verl. in mm^3	- 8,4	1,03
in %	- 7,85	0,96
Anteil durch Porositäts-änderung in mm^3	0,75	2,15
in %	0,70	2,01
Anteil d. Porositätsänder-ung am Gesamtvolumenverl. in %	- 9,8	67,6

Als Vergleichswerte dienten die bei Norm gewonnenen Meßwerte.

Die Volumenzunahme des Prüfkörpers nach Verzögerung des Kondensationszeitpunktes um 420 sec. und Kondensation mit Normdruck zeigt sich schon in der größeren Prüfkörperlänge. Die Volumenzunahme resultiert zu 100 % aus dem weniger abgepressten Quecksilber. Da die Gesamtvolumenzunahme unter dem Raumanteil, den das Quecksilber einnehmen müßte, liegt, muß es zu einer Porositätsverminderung im Prüfkörper gekommen sein. Wird bei Verzögerung des Kondensationszeitpunktes um 420 sec. gleichzeitig der Druck auf 2-fachen Normdruck erhöht, so nimmt das Gesamtvolumen verglichen mit den Prüfkörpern nach Norm ab. Hier wird aber die Gesamtvolumenabnahme des Prüfkörpers zu 67,6 % durch den Anteil durch Porositätsänderung des Prüfkörpers und nur zu 32,4 % durch Abnahme des Hg-Anteils bestimmt.

Vergleicht man die Creep-Werte für:

- Normbedingungen 1,86 %
- Kondensationszeit 420 sec. u. Normdruck 2,52 %
- Kondensationszeit 420 sec. u. 2-facher Normdruck 2,37 %

so kann auch hier die Vermutung, daß die Porosität keine entscheidende Größe für die Veränderung des Creep-Wertes ist, bestätigt werden.

Es sei hier noch einmal erwähnt, daß die Aussagen über die Porosität der Prüfkörper nur anhand von Vergleichen der einzelnen Prüfkörperreihen untereinander gemacht werden konnten. Detailliertere Aussagen über den Einfluß der Porosität müssen Untersuchungen, welche die Porositäten direkt untersucht haben, überlassen bleiben.

3.4 Prüfkörperreihe mit Variation der: Kondensationsart

Da auf Grund von Härtemessungen bekannt ist, daß die Härte nicht gleichmäßig über den gesamten Prüfkörper verteilt ist (persönliche Mitteilung H.J. Rehberg), sollte hier untersucht werden, ob eine Änderung der Kondensationsart einen Einfluß auf die Hg-Abpressung und den Creep-Wert hat.
Diese Versuche sind als Testversuche zu werten, die Möglichkeiten in verschiedenen Richtungen aufzeigen und erste Ergebnisse liefern sollen. Deshalb sind die folgenden Testreihen 3.4 und 3.5 nur mit jeweils vier Prüfkörpern erstellt worden.

3.4.1 Vorversuche

Verglichen werden sollten nach ADA Spec. No. 1 gestopfte Prüfkörper mit Prüfkörpern, die durch "Intervall-Stopfen" und durch "2 Portionen-Stopfen" hergestellt wurden.

- Das "Intervall-Stopfen" erfolgte in den 15 sec. nach der ersten Belastung (s. S. 10) bis zum Aufheben der Belastung und dem Entfernen des Platzhalters in 5 Druckschüben zu je 2 sec. mit je 1 sec. Entlastung dazwischen.

- Beim "2 Portionen-Stopfen" wurden etwa gleich große Hälften der fertig triturierten Amalgammenge gestopft. Dabei wurde der Hg-Überschuß, der sich nach dem Stopfen der ersten Hälfte abgepreßt hatte, sorgfältig entfernt. Dann wurde die 2. Hälfte eingebracht und kondensiert.

3.4.1.1 Ergebnisse der Vorversuche

Die Ergebnisse der Vorversuche wurden in Tabelle XI zusammengestellt (s. S. 60).

Tabelle XI

Prüfkörperreihe m. Variation der: Kondensationsart

Stopfart	Gewicht d. Prüfkörper nach Stopfen (mg)	Hg-Verlust in %	Mittelwert in %	Prüfkörperlänge in mm	Mittelwert in mm
Nach Norm	1138 1145 1130 1133	14,34 14,03 15,17 14,94	14,62	8,520 8,399 8,520 8,357	8,449
Intervall-Stopfen	1137 1136 1134 1136	14,64 14,71 14,87 14,71	14,73	8,398 8,398 8,389 8,394	8,395
"2 Portionen-Stopfen"	1131 1135 1126 1132	15,09 14,79 15,46 15,02	15,09	8,347 8,329 8,327 8,332	8,334

Einwaage: 1332 mg
666 mg: 666 mg = Alloy : Hg

3.4.1.1 Diskussion der Vorversuche

Die Originallänge der Prüfkörper (Homogenität) und die Hg-Abpressung differieren in den einzelnen Testreihen nur unwesentlich. Da die in 2 Portionen gestopfte Testreihe den geringeren Hg-Gehalt aufwies, wurde diese Testreihe der Creep-Prüfung unterzogen (da der Zusammenhang zwischen Hg-Gehalt und Creep-Wert bekannt ist, sollte nur die Prüfreihe mit dem niedrigeren Hg-Gehalt untersucht werden).

3.4.2 Hauptversuche

Es wurden vier Testkörper angefertigt, die wie unter 3.4.1 als "2 Portionen-Stopfen" beschrieben unter Normbedingungen hergestellt wurden. Das heißt, der Zeitplan der Norm wurde absolut eingehalten.

3.4.2.1 Ergebnisse der Hauptversuche

Die Ergebnisse der Creepmessungen wurden in Tabelle XII zusammengefaßt (s. S. 62).
Nach statistischer Auswertung ergab sich für den Creep-Wert folgender Mittelwert:

"2 Portionen-Stopfen" - Normbedingungen

$\bar{x} = 1{,}81 \pm 0{,}5635$ (%); ($\pm$ 0,0568; 99 %; 3)

Tabelle XII

Prüfkörperreihe m. Variation der: Kondensationsart

2 Portionen Stopfen

Versuchs-Nr.	Originallänge	Länge nach 1 h	Länge nach 4 h	Creep %	Hg-Verlust in mg	Hg-Gehalt in %
1	8,435	8,336	8,218	1,40*	170	42,61
2	8,369	8,292	8,145	1,76	179	42,16
3	8,469	8,365	8,207	1,87	165	42,86
4	8,438	8,346	8,195	1,79	174	42,41
$\bar{x}$	8,428	8,335	8,191	-- *1	172	42,51

* = Ausreißer nach Nalimov-Test

*1 = s. S. 61

3.4.2.2 Diskussion der Hauptversuche

Die mit der hier verwandten Methode des "2 Portionen-Stopfens" hergestellten Prüfkörper ergaben keine signifikante Verbesserung des Creep-Wertes gegenüber Normbedingungen (s.S. 23).
Auffallend ist jedoch der trotz der niedrigen Anzahl von Messungen sehr kleine Streubereich der Einzelwerte. Der Vertrauensbereich des Mittelwertes bleibt auf Grund der niedrigen Anzahl von Messungen relativ hoch ($\frac{T}{\sqrt{n}}$).
Es wäre demnach möglich, daß diese Stopfart eine geringere Streuung der Einzelwerte bei der Messung ergibt. Das ist für eine statistische Auswertung nur weniger Werte von erheblichem Vorteil.
Endgültige Aussagen können aber zu diesem Problem auf Grund dieser Prüfreihe nicht getroffen werden.
Ähnliche Versuche wurden auch von Osborne (15) durchgeführt. Er veränderte die Stopfart und den Stopfdruck. Bei seinem als "dynamisches Stopfen" bezeichneten Vorgang verbessert sich der Creep-Wert je nach Höhe des benutzten Druckes mehr oder weniger deutlich. Außerdem verringert diese Stopfart den Einfluß der Triturationszeit auf den Kennwert Creep.

3.5 Prüfkörperreihe mit Variation der: zu kondensierenden Amalgammenge

In dieser Versuchsreihe soll die Frage diskutiert werden, ob statt einer Erhöhung des Kondensationsdruckes auch eine Verminderung der zu kondensierenden Amalgammenge eine Veränderung des Creep-Wertes hervorruft. Dies ist eine andere Möglichkeit, bei der anzunehmen ist, daß sich die Homogenität der Prüfkörper verbessert.

3.5.1 Versuche

Es wurden für diese Prüfreihe Distanzplättchen angefertigt, die 1 mm bzw. 2 mm Höhe hatten und einen Durchmesser von 4 mm. Die Plättchen hatten die Aufgabe, trotz verringerter Amalgammenge, die Prüfkörperlänge L_o zu erhalten, um so die gleichen Bedingungen in den Meßgeräten zu gewährleisten, wie in den vorangegangenen Versuchen. Die Plättchen hatten einen druckknopfartigen Vorsprung in der Mitte, wodurch sie sich fest mit dem Amalgam verbanden.

Skizze eines Plättchens

Ø 4 mm

Die so hergestellten Prüfkörper enthielten 75 % bzw. 50 % der sonst üblichen Amalgammenge und an beiden Seiten ein Plättchen von je 1 mm, bzw. 2 mm (s. Abb. 20 u. 21).

Abb. 20 Prüfkörper mit 75 % der Amalgammenge

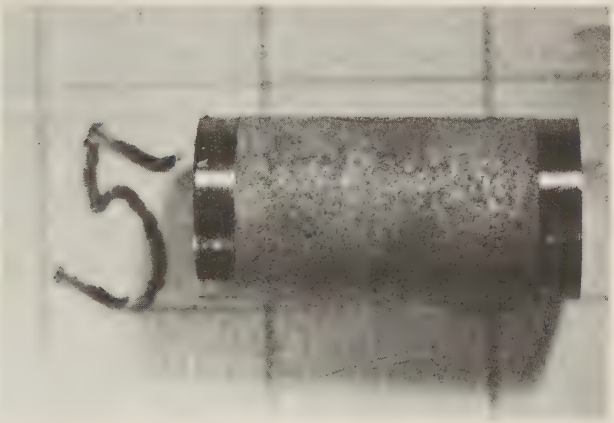
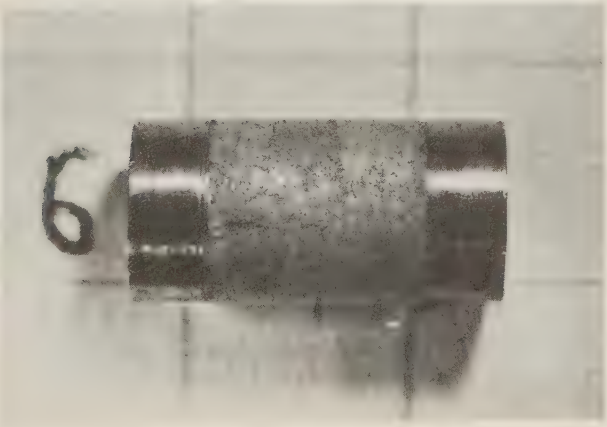


Abb. 21 Prüfkörper mit 50 % der Amalgammenge



3.5.2 Ergebnisse

Die Meßergebnisse wurden in Tabelle XIII und XIV zusammengefaßt (s. S. 67).
Nach statistischer Auswertung ergaben sich für den Creep-Wert folgende Mittelwerte:

75 % Amalgam (495 mg Alloy : 495 mg Hg)

$\bar{x}$ = 1,90 $\pm$ 1,88 (%); ($\pm$ 0,3226; 99 %; 4)

50 % Amalgam (330 mg Alloy : 330 mg Hg)

$\bar{x}$ = 1,39 $\pm$ 1,27 (%); ($\pm$ 0,1277; 99 %; 3)

Tabelle XIII, XIV

Prüfkörperreihe m. Variation der: zu kondensierenden Amalgammenge
(XIII) 75 % 1-2-3-4
(XIV) 50 % 5-6-7-8

Versuchs-Nr.	Originallänge	Länge nach 1 h	Länge nach 4 h	Creep %	Hg-Verlust in mg	Hg-Gehalt in %
1	8,490	8,428	8,302	1,94		
2	8,176	8,112	7,948	2,01		
3	8,260	8,187	8,095	1,45		
4	8,235	8,151	8,013	2,21		
$\bar{x}$	8,290	8,220	8,090			
5	8,263	8,250	8,214	0,85*		
6	8,324	8,299	8,214	1,02		
7	8,213	8,170	8,116	1,28		
8	8,105	8,058	7,995	1,53		
$\bar{x}$	8,226	8,194	8,135			

Die Plättchenstärke wurde von der Prüfkörperlänge abgezogen.

75 %: l_o - 2mm 50 %: l_o - 4mm

* = Ausreißer nach Nalimov-Test

3.5.3 Diskussion

Diese Resultate zeigen deutlich, daß für eine statistisch gesicherte Aussage mehr Einzelmessungen nötig sind (s. auch hoher Wert für 75 %).
Die hier ermittelten Ergebnisse lassen dennoch folgende Aussage zu: Der Creep-Wert wird für eine Amalgammenge, die der Hälfte der sonst zu kondensierenden entspricht, erheblich abnehmen. Dieses Ergebnis läßt weitere und genauere Untersuchungen in dieser Richtung sinnvoll erscheinen.
Eine Verminderung der zu kondensierenden Menge, d.h. mehrere kleine Amalgamportionen beim Stopfen einer größeren Kavität zu verwenden, empfiehlt auch schon Wing (26). Diese praktische Anweisung an den Kliniker und die von uns ermittelten Resultate in Bezug auf eine Verminderung der Amalgammenge und deren Auswirkung auf den Kennwert Creep zielen in dieselbe Richtung.

3.6 Prüfkörperreihe mit Variation der: Temperatur bei der Creep-Messung

In dieser Prüfreihe wurde im Gegensatz zu den übrigen Untersuchungen nicht ein Parameter bei der Prüfkörperherstellung, sondern bei der Prüfkörpermessung verändert. Werte vorheriger Arbeiten (17, 18, 22) sollten in Relation zu den hier erzielten Ergebnissen gesetzt werden können. Der Einfluß der Temperatur bei der Messung schien die Differenz der ermittelten Creep-Werte bei Messungen mit gleichen Materialien unter sonst gleichen Bedingungen nicht zu rechtfertigen.
So hatte H. Plümer bei einer Meßtemperatur von 23 $\pm$ 1° C einen Creep-Wert von 0,283 % ermittelt, während hier bei einer Meßtemperatur von 37 $\pm$ 0,1° C ein Creep-Wert von 1,86 % ermittelt worden war.

3.6.1 Versuche

Es wurden zwei Prüfkörperreihen, die unter Normbedingungen hergestellt worden waren, gemessen. Bei der ersten Prüfkörperreihe wurde die Heizung, die die Versuchsappartur sonst auf 37 $\pm$ 0,1° C hält, so eingestellt, daß die Temperatur bei der Messung jetzt 25 $\pm$ 0,1° C. betrug.

Um thermische Spannungen in der Meßapparatur auszugleichen, wurde bis zur ersten Messung 24 Stunden gewartet.
Die zweite Meßreihe sollte bei 20 $\pm$ 0,1° C vorgenommen werden. Dazu wurde die Versuchsapparatur in einen Klimaraum verbracht. Die Prüfkörper wurden bei einer Temperatur von 20 $\pm$ 0,1° C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 58 % der Creep-Messung unterzogen.

3.6.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse wurden in Tabelle XV und XVI zusammengefaßt (s.S. 71).
Nach statistischer Auswertung ergaben sich für die Creep-Werte folgende Mittelwerte:

Creep-Messung bei 25 $\pm$ 0,1° C

$\bar{x}$ = 0,53 $\pm$ 0,4987 (%); ($\pm$ 0,0854; 99 %; 4)

Creep-Messung bei 20 $\pm$ 0,1° C

$\bar{x}$ = 0,35 $\pm$ 0,5011 (%); ($\pm$ 0,0858; 99 %; 4)

Tabelle XV, XVI

Prüfkörperreihe m. Variation d.:Temperatur bei der Creepmessung

(XV) 25 ± 0,1° C 1-2-3-4
(XVI)20 ± 0,1° C 5-6-7-8

Versuchs-Nr.	Originallänge	Länge nach 1 h	Länge nach 4 h	Creep %	Hg-Verlust in mg	Hg-Gehalt in %
1	8,564	8,493	8,437	0,65	155	43,35
2	8,641	8,486	8,446	0,46	160	43,10
3	8,648	8,550	8,503	0,54	158	43,20
4	8,529	8,512	8,471	0,48	155	43,35
$\bar{x}$	8,596	8,510	8,451	--	157	43,26
5	8,533	8,445	8,417	0,33	159	43,15
6	8,517	8,428	8,408	0,23	170	42,61
7	8,533	i,470	i,434	0,42	161	43,05
8	8,517	i,452	i,418	0,40	170	42,61
$\bar{x}$	8,525	8,449	8,419	-- *	165	42,86

* = s. S. 70

3.6.3 Diskussion

Es zeigt sich, daß die Temperatur bei der Creep-Messung einen ganz erheblichen Einfluß auf den Meßwert Creep hat.
Durch dieses Ergebnis werden die hier ermittelten Creep-Werte mit den Creep-Werten vorheriger Arbeiten (H. Plümer, 17) vergleichbar. Weiterhin zeigt der kleine Wert von $\dot{T}$, daß schon mit wenigen Messungen eine genauere Angabe des Creep-Wertes möglich ist.
Wichtig scheint mir, zu erwähnen, daß die Angaben über den Kennwert Creep in wissenschaftlichen Untersuchungen immer sorgfältig auf alle Untersuchungsbedingungen hin geprüft werden sollten, ehe man sie mit anderen Werten vergleicht. Nicht nur der absolute Zahlenwert, sondern vor allem seine Entstehung sind von Bedeutung. Erst damit wird dem reinen Zahlenwert die angemessene Bedeutung zuteil.

4. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluß von:

1. Lagerzeit der Proben
2. Höhe des Kondensationsdruckes
3. Kondensationszeitpunkt kombiniert mit dem Kondensationsdruck
4. Kondensationsart
5. Zu kondensierende Amalgammenge
6. Temperatur bei der Messung

auf den Kennwert Creep geprüft.
Als Prüfmaterial diente das Feilungsamalgam LUMICON(R)-Silberamalgam der Firma Bayer AG.
Die Creepmessung wurde nach der ADA Spec. No. 1 nach 1 Tag Lagerung durchgeführt (Ausnahme: 3.1 - Lagerung 7 Tage).
Die Prüfreihen wurden bis auf die jeweils veränderten zu überprüfenden Parameter nach den Vorschriften der ADA Spec. No. 1 angefertigt. Die Ergebnisse wurden unter Benutzung des "Ausreißer-Tests nach Nalimov" überprüft. Die bereinigten Ergebnisse wurden mit Hilfe des "Student-t Tests" in der Standardform angegeben.
Tabelle XVII zeigt eine Zusammenfassung der ermittelten Creep-Werte für alle Meßreihen (s.S. 78).

Der Streubereich der Mittelwerte = $\frac{T}{\sqrt{n}}$ wurde als wichtige Information mit in diese Tabelle eingefügt.

Im folgenden sollen die wichtigsten Ergebnisse dieser Arbeit zusammengefaßt werden.

1. Die hier erzielten Ergebnisse über den Einfluß der Lagerung entsprechen den Ergebnissen der Arbeit von H. Plümer (17). Der Temperaturunterschied bei der Messung zeigt sich nur bei den absoluten Zahlen, nicht aber beim prozentualen Rückgang des Creep-Wertes. Das hier verwendete LUMICON$^{(R)}$ - Silberamalgam kann also bei Normbedingungen schon nach einem Tag geprüft werden, da der Rückgang des Creep-Wertes selbst unter ungleichen Meßbedingungen offensichtlich prozentual immer dieselben Werte zeigt. Die Ergebnisse über den Einfluß der Lagerung sind hier für dieses Amalgam mit einer größeren Prüfreihe und statistisch abgesichertem Zahlenmaterial bestätigt worden.

2. In der Druckreihe konnte gezeigt werden, daß eine Erhöhung des Druckes den Creep-Wert verbessert. Die Beziehung Druck - Creep ist aber nicht proportional. Eine Erhöhung des Normdruckes von 14 MN/m^2 auf 28 MN/m^2 bringt optimale Ergebnisse. Eine Erhöhung auf 42 MN/m^2 kann diese Ergebnisse nicht deutlich verbessern.

Der in der Normvorschrift mit 14 MN/m^2 angegebene Kondensationsdruck reicht für eine materialgerechte Prüfung dieses Feilungsamalgams nicht aus.
Diese Aussage muß deutlich hervorgehoben werden, da mit der Normvorschrift Materialien unterschiedlicher Herstellungsart (sphärische Amalgame und Feilungsamalgame) verglichen werden sollen. Deshalb sollte gefordert werden, daß bei dieser Prüfung ein Kondensationsdruck angewandt wird, der für alle Materialien optimale Bedingungen gewährt.
Aus der statistischen Auswertung geht weiterhin hervor, daß der Streubereich der Einzelwerte, die Standardabweichung und der Vertrauensbereich durch eine Erhöhung des Kondensationsdrucks erheblich verbessert werden. Das bedeutet, daß eine Erhöhung des Kondensationsdrucks gesichertere Aussagen zuläßt.

3. Bei der Prüfreihe mit Variation von Kondensationszeitpunkt und -druck zeigte sich, daß die Verschlechterung des Creep-Wertes weitaus niedriger lag als erwartet.
Eine Druckerhöhung auf das Doppelte konnte den negativen Einfluß der verspäteten Kondensation nur unwesentlich beeinflußen.

4. Eine Veränderung der Kondensationsart durch Stopfen in zwei Portionen kann zwar den Creep-Wert nicht entscheidend beeinflussen, möglicherweise aber die Streuung der Einzelwerte einengen.

5. Bei den Versuchen mit einer Verminderung der zu stopfenden Amalgammenge auf 50 % wurde deutlich, daß eine Verminderung der Amalgammenge um 50 % den Creep-Wert der Probekörper verbessert.
Geringere Verminderung der zu kondensierenden Amalgammenge ergaben keinen Anhalt für eine positive Veränderung des Creep-Wertes.

6. Durch eine Veränderung der Temperatur bei der Creep-Messung wurde ein über Erwarten großer Einfluß dieser Versuchsbedingung, sowohl auf den absoluten Creep-Wert als auch auf die Streuung der Einzelwerte sichtbar. Steigende Temperatur ergab bei Normbedingungen eine größere Streubreite der Einzelwerte und erheblich erhöhte Creep-Werte.

Generell soll hier noch einmal hervorgehoben werden, daß die Bedingungen, unter denen die Prüfkörper hergestellt werden, noch reproduzierbarer gestaltet werden sollten.

Einfache Kriterien zur Vorauswahl der Prüfkörper vor der aufwendigen Creep-Messung, wie ein Herauslassen von Prüfkörpern mit abweichendem Hg-Gehalt (durch einfaches Wiegen zu bestimmen), sollten, vor allem angesichts der geringen Anzahl von Einzelprüfkörpern pro Meßreihe, Eingang finden.
So würden mit groben Herstellungsfehlern behaftete Prüfkörper von vornherein keinen Eingang in die Creep-Messung finden.

Abschließend sei festgestellt, daß das hier untersuchte Material, das Feilungsamalgam LUMICON(R) - Silberamalgam der Firma Bayer AG in allen Meßreihen mit seinem Creep-Wert unter den von der Norm geforderten 3 % liegt. Selbst bei ungünstigen Bedingungen, wie 1/2 Normdruck oder einer Verzögerung der Kondensation um 420 sec. ist die von der Norm geforderte Grenze deutlich unterschritten worden.

Tabelle XVII

Zusammenfassung der Creepwerte aller Versuchsreihen nach statistischer Berechnung

	$\bar{x}$	$\pm T$	$\pm s$	P	n	$\frac{T}{\sqrt{n}}$
Lagerung 7 Tage	1,48	0,6618	0,2128	99	12	0,1910
1/2 Normdruck	2,27	1,127	0,3625	99	12	0,3253
Normdruck	1,86	0,6879	0,2170	99	11	0,2074
2-facher Normdruck	1,55	0,4003	0,1278	99	11	0,1155
3-facher Normdruck	1,52	0,3539	0,1089	99	11	0,1067
420 sec / Normdruck	2,52	0,8936	0,2553	99	8	0,3159
420 sec / 2-f. Normdruck	2,37	0,9708	0,2409	99	6	0,3963
"2 Portionen-Stopfen"	1,81	0,5636	0,0568	99	3	0,3253
Amalgammenge 75 %	1,90	1,88	0,3226	99	4	1,088
Amalgammenge 50 %	1,39	1,27	0,1277	99	3	0,7314
Meßtemperatur 25 $\pm$ 0,1 °C	0,53	0,4987	0,0854	99	4	0,2344
Meßtemperatur 20 $\pm$ 0,1 °C	0,35	0,5011	0,0858	99	4	0,2505

r-Tabelle (aus 11)

(Ausreißertest nach NALIMOV, Zahlen von G. GOTTSCHALK)

STATISTISCHE SICHERHEIT P in %:

f	(95%)	(99%)	(99,9%)
1	1,409	1,414	1,414
2	1,645	1,715	1,730
3	1,757	1,918	1,982
4	1,814	2,051	2,178
5	1,848	2,142	2,329
6	1,870	2,208	2,447
7	1,885	2,256	2,540
8	1,895	2,294	2,616
9	1,903	2,324	2,678
10	1,910	2,348	2,730
11	1,916	2,368	2,774
12	1,920	2,385	2,812
13	1,923	2,399	2,845
14	1,926	2,412	2,874
15	1,928	2,423	2,899
16	1,931	2,432	2,921
17	1,933	2,440	2,941
18	1,935	2,447	2,959
19	1,936	2,454	2,975
20	1,937	2,460	2,990
25	1,942	2,483	3,047
30	1,945	2,498	3,085
35	1,948	2,509	3,113
40	1,949	2,518	3,134
45	1,950	2,524	3,152
50	1,951	2,529	3,166
100	1,956	2,553	3,227
200	1,958	2,564	3,265
300	1,958	2,566	3,271
400	1,959	2,568	3,275
500	1,959	2,570	3,279
600	1,959	2,571	3,281
700	1,959	2,572	3,283
800	1,959	2,573	3,285
∞	1,960	2,576	3,291

t-Tabelle (aus 11)

(Faktoren zur Angabe des Streubereichs,
Vergleichsgrößen zu den Tests 5, 7 u. 9)
STATISTISCHE SICHERHEIT P in %:

f	(95%)	(99%)	(99,9%)
1	12,71	63,66	636,62
2	4,30	9,92	31,60
3	3,18	5,84	12,92
4	2,78	4,60	8,61
5	2,57	4,03	6,86
6	2,45	3,71	5,96
7	2,37	3,50	5,41
8	2,31	3,36	5,04
9	2,26	3,25	4,78
10	2,23	3,17	4,59
11	2,20	3,11	4,44
12	2,18	3,06	4,32
13	2,16	3,01	4,22
14	2,15	2,98	4,14
15	2,13	2,95	4,07
16	2,12	2,92	4,02
17	2,11	2,90	3,96
18	2,10	2,88	3,92
19	2,09	2,86	3,88
20	2,08	2,85	3,85
25	2,060	2,787	3,725
30	2,042	2,750	3,646
35	2,030	2,724	3,592
40	2,021	2,704	3,551
45	2,014	2,689	3,521
50	2,009	2,678	3,496
100	1,984	2,626	3,390
200	1,972	2,601	3,340
300	1,969	2,595	3,328
400	1,967	2,590	3,318
500	1,965	2,586	3,310
600	1,964	2,585	3,307
700	1,963	2,584	3,304
800	1,963	2,583	3,302
∞	1,960	2,576	3,291

6. Literaturverzeichnis

1. ADA
"Spec. No. 1 for Alloy for Dental Amalgam (1977)"
Addendum zu Spec. No. 1 (1980)

2. Clark, A. E.; Farah, J.W.; Mohammed H. et al.
"The Influence of Condensation Pressure on the Strength of High Copper Amalgam Alloys"
J. Dent. Res., Vol. 58, Abstr. 34 (1979)

3. Eames, W.B.; Macnamara, J.F.
"Eight High-copper Amalgam Alloys and Six Conventional Alloys Compared"
Oper. Dent. 1, 98-107 (1976)

4. Eichner, K.; Effinger, A.; Elbrecht, H.J. et al.
"Leitfaden zahnärztlicher Werkstoffe und ihrer Verarbeitung"
2. Auflage, Berlin, Berlin. Verl. Anst. (1967)

5. Jørgensen, K.D.
"Amalgame in der Zahnheilkunde"
Carl Hanser Verlag München Wien (1977)

6. Jørgensen, K.D.
"The Mechanism of Marginal Fracture of Amalgam Fillings"
Acta Odont. Scand. 23, 347-389 (1965)

7. Jørgensen, K.D.
"Recent Developments in Alloys for Dental Amalgams: Their Properties and Proper Use"
Int. Dent. J., 26, 369-377 (1976)

8. Kaiser, R. u. Gottschalk, G.
"Elementare Tests zur Beurteilung von Meßdaten"
Bibliographisches Institut Mannheim/Wien/Zürich
B.I.-Wissenschaftsverlag (1972)

9. Königsmann, Ingrid
"Beitrag zur metallographischen und mechanisch-technologischen Untersuchung von Dental-Amalgamen"
Med. Diss. Düsseldorf (1980)

10. Lautenschlager, E. P.; Szurgot, K. and Greener, E.H.
"Time-Temperature Relationship for Creep of Amalgam"
J. Dent. Res., Vol. 58, Abstr. 25 (1979)

11. Mahler, D.B.; Terkla, L.G.; Van Eysden, J.
"Marginal Fracture of Amalgam Restorations"
J. Dent. Res. 52, 823-827 (1973)

12. Mahler, D.B. and Van Eysden, J.
"Dynamic Creep of Dental Amalgam"
J. Dent. Res. 48, 501-508 (1969)

13. Nagai, K.; Ohashi, M.; Habu, H. et al.
"A Study on the Condensation Pressure for Spherical Amalgam"
J. Nihon Univ. Sch. Dent. 13, 133-152 (1971)

14. Osborne, J.W.; Phillips, R.W.; Norman, R.D. et al.
"Static Creep of Certain Com. Amalgam Alloys"
J. Am. Dent. Assoc. 89; 620-622 (1974)

15. Osborne, J.W.; Phillips, R.W.; Norman, R.D. et al.
"Influence of Certain Manipulative Variables on the Static Creep of Amalgam"
J. Dent. Res. 56, 616 (1977)

16. Patel, S.; Cruickshanks-Boyd, D.W.
"The Effect of Ageing on the Creep and Compressive Strength of High Copper Content Amalgams"
Brit. Dent. J. 147, 42 (1979)

17. Plümer, H.
"Das Creepverhalten von Amalgamen in Abhängigkeit von der Lagerungszeit"
Med. Diss. Düsseldorf (1977)

18. Plümer, D.
"Das Creepverhalten von Amalgamen nach unterschiedlichen Temperaturbelastungen"
Med. Diss. Düsseldorf (1978)

19. Rehberg, H.J. u. Gramberg, U.
"Trituration and Creep"
J. Biomed. Mater. Res. 13:833-842 (1979)

20. Riethe, P.
"Die Quintessenz der Amalgamanwendung"
Buch- und Zeitschriftenverlag
Die Quintessenz Berlin 1971

21. Rümann, F. u. Lutz, F.
"Komposits als Amalgamersatz - klinische und experimentelle Resultate"
Die Quintessenz, Heft 3, Referat 6061 (1980)

22. Vrijhoef, M.M.A.
"Dental Amalgam - An explorative study"
Med. Dissert. Nijmegen (1973)

23. Vrijhoef, M.M.A.; Driessens, F.C.M.
"On the Static Creep of Dental Amalgam"
J. Dent. Res. 53: 1138-1144 (1974)

24. Vrijhoef, M.M.A.; Scharschmidt, J.; Rehberg, H.J.
"Zusammenhang zwischen der Mikrostruktur und dem 'Creep' von Amalgamen"
Dtsch. Zahnärztl. Z. 30: 602-605 (1975)

25. Vrijhoef, M.M.A.; Jensen S.J.
"Influence of the Heat Treatment of Commercial Amalgam Alloys on the Phase Composition of the Alloys and the Creep of the Resulting Amalgams"
J. Biomed. Mater. Res. 11: 339-346 (1977)

26. Wing, G.
"Dental Amalgam"
in: Frauenhofer
"Scientific Aspects of Dental Materials"
Butterworth-Verlag, London (1975)

Für die Überlassung des Themas, sowie für die Anregungen und den Rat bei der Abfassung der Arbeit fühle ich mich Herrn Prof. Dr. H. J. Rehberg zu großem Dank verpflichtet.

Ebenso danke ich der Fa. Bayer AG (Leverkusen) für die Bereitstellung sämtlicher Materialien und Apparaturen.

Weiterhin danke ich Herrn Dr. Gramberg und seinen Mitarbeitern aus der Abtlg. Materialprüfung des Bayer-Werks in Leverkusen für ihre tatkräftige Unterstützung während der Versuchsreihen zu meiner Arbeit.

Mein besonderer Dank gilt auch Frau D. Kerkau, die mir bei der Durchsicht der fremdsprachigen Literatur behilflich war.

Lebenslauf

Am 12. Februar 1954 wurde ich, Johannes Szafraniak, als Sohn der Eheleute Johannes Szafraniak und Elisabeth Szafraniak, geb. Dornieden, in Bochum-Gerthe geboren.

Von Ostern 1960 bis April 1965 besuchte ich die katholische Volksschule in Bochum-Gerthe.

Im Mai 1965 trat ich in das dortige Heinrich-v.-Kleist Gymnasium ein, wo ich im Mai 1973 meine Reifeprüfung ablegte.

Im Anschluß daran verpflichtete ich mich freiwillig für zwei Jahre bei der Bundeswehr. Meine Dienstzeit leistete ich im Truppensanitätsdienst ab und wurde am 30. Juni 1975 als Fähnrich der Reserve entlassen.

Im Wintersemester 1975 begann ich mit dem Studium der Zahnheilkunde an der Universität Düsseldorf. Am 6. Oktober 1980 legte ich dort das Zahnärztliche Staatsexamen ab.

Seit Januar 1981 bin ich als Assistent in einer zahnärztlichen Praxis im Raum Mönchengladbach tätig.